

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 Offenlegungsschrift
①1 DE 3830790 A1

⑤1 Int. Cl. 5:
G 05 D 1/02
G 08 G 1/16
G 08 G 9/02

②1 Aktenzeichen: P 38 30 790.1
②2 Anmeldetag: 9. 9. 88
④3 Offenlegungstag: 15. 3. 90

DE 3830790 A1

⑦1 Anmelder:
Freund, Eckhard, Prof. Dr.-Ing., 5840 Schwerte, DE

⑦4 Vertreter:
Andrae, S., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., 8000 München;
Flach, D., Dipl.-Phys., 8200 Rosenheim; Haug, D.,
Dipl.-Ing., 7320 Göppingen; Kneißl, R., Dipl.-Chem.
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦2 Erfinder:
Freund, Eckhard, Prof. Dr.-Ing., 5840 Schwerte, DE;
Lammen, Benno, Dipl.-Ing., 4600 Dortmund, DE

⑥4 Verfahren und Vorrichtung zur automatischen Kollisionsvermeidung für automatisch fahrbare Fahrzeuge

Da in kritischen Verkehrssituationen häufig nicht schnell genug und situationsgerecht auf Gefährdungen durch Hindernisse reagiert werden kann, soll in derartigen Fällen mittels einer automatischen Kollisionsvermeidung ein kollisionsvermeidendes Beschleunigungs-, Brems- bzw. Ausweichmanöver durchgeführt werden.

Dies wird durch ein hierarchisch aufgebautes Verfahren und durch eine zugehörige Vorrichtung bewerkstelligt, wobei sensorisch Daten des Fahrzeuges und seiner Sollbahn erfaßt und daraus ermittelte Sollsignale der Fahrzeugbahn einer zweiten hierarchischen Stufe einer Kollisionsvermeidungsvorrichtung zusammen mit den beispielsweise sensorisch erfaßten Daten einer Hindernisbahn zugeführt und darüber die Stellglieder der Fahrzeugregelung im Sinne einer Kollisionsvermeidung in einer dritten hierarchischen Stufe angesteuert werden.

Das Verfahren und die Vorrichtung eignen sich insbesondere für Straßenfahrzeuge.

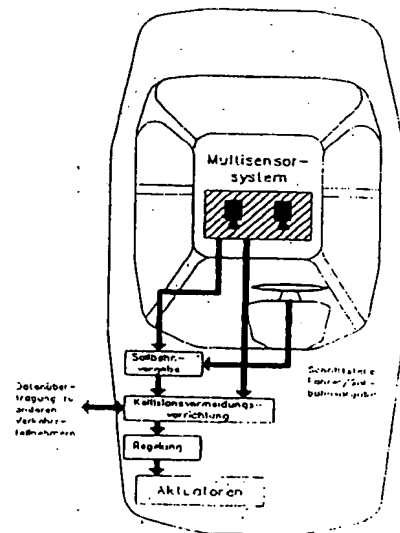


Fig. 1

DE 3830790 A1

Beschreibung

1. Titel

Verfahren und Vorrichtung zur automatischen Kollisionsvermeidung für automatisch fährbare Fahrzeuge.

2. Anwendungsgebiet

Die Erfindung betrifft die Erkennung von Kollisionsgefahren für Fahrzeuge, basierend auf sensorisch ermittelten Daten über das Fahrzeug, andere Verkehrsteilnehmer, Hindernisse und Umweltbedingungen sowie die Berechnung kollisionsfreier Sollbahnen in Echtzeit für eine automatische Fahrzeugführung.

3. Zweck

In kritischen Verkehrssituationen, in denen der Führer eines Kraftfahrzeuges nicht schnell genug und situationsgerecht auf Gefährdungen durch Hindernisse oder andere Verkehrsteilnehmer reagieren kann, leitet die automatische Kollisionsvermeidung Notfallfahrmanöver ein und gibt der Fahrzeugregelung eine situationsabhängige in Echtzeit berechnete kollisionsfreie Sollbahn vor.

4. Stand der Technik

In Zusammenarbeit zwischen Martin Marietta Denver Aerospace und der Carnegie Mellon University ist in den letzten Jahren in den USA im Rahmen des Autonomous Land Vehicle (ALV) Programms der Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) erfolgreich an der Entwicklung autonomer Landfahrzeuge gearbeitet worden. Es existieren Testfahrzeuge, die in der Lage sind, selbständig in einem Testgelände zu navigieren und Hindernisse zu erkennen und in ihrer Position zu bestimmen. Hierzu werden die Daten eines Sensors ausgewertet, der am Fahrzeug angebracht ist und die Szene vor dem Fahrzeug mittels eines Lasers abtastet (SPIE Vol. 727 Mobile Robots, 1986; S. 110—115; S. 261—266).

An der Universität der Bundeswehr München ist ein automatisch geführtes Fahrzeug entwickelt worden, das mit Geschwindigkeiten bis zu 100 km/h selbständig in einer autobahnähnlichen Umgebung, d. h. ohne Gegenverkehr und Kreuzungen, fährt. Die Algorithmen zur Fahrzeugführung basieren auf der Bestimmung der Kurvenkrümmung als charakterisierender Größe für den Fahrbahnverlauf. Die Kurvenkrümmung wird aus den Bildern verschiedener am Fahrzeug angebrachter Kameras, die die Gesamtszene vor dem Fahrzeug und einzelne Ausschnitte der Szene im Verlauf der Fahrbahnbegrenzung beobachten (SPIE Vol. 727 Mobile Robots, 1986; S. 161—168), ermittelt.

Der augenblickliche Stand der Technik erlaubt es, den Verlauf der Fahrbahn (Sollkurswinkel für das Fahrzeug, Krümmungsradius in Kurven) und die Position des Fahrzeuges auf der Fahrbahn sensorisch zu ermitteln und das Fahrzeug automatisch auf seinem Sollkurs zu führen. Darüber hinaus ist es möglich, Hindernisse im interessanten Verkehrsraum zu erkennen und aus der Positionsänderung die Geschwindigkeit und den Kurswinkel sowie die Beschleunigung und den Krümmungswinkel der Hindernisbahn zu bestimmen.

Die bekannten Verfahren zur automatischen Fahrzeugführung erlauben es bisher aber nicht, über die Hinderniserkennung hinaus in kritischen Verkehrssituationen zur Vermeidung von Kollisionen in Echtzeit kollisionsfreie Sollbahnen für die Fahrzeugführung vorzugeben und damit einem Hindernis auszuweichen und es zu passieren. In die bekannten Verfahren gehen bei Notfallmanövern auch nicht die physikalisch oder fahrzeugseitig bedingten Begrenzungen für Beschleunigungen und Bremsmanöver oder der begrenzte Raum für Ausweichmanöver quer zur Kursrichtung ein.

5. Aufgaben

Durch die Entwicklung der Sensortechnik ist es möglich, die Positionen, Geschwindigkeiten und Kurswinkel von Hindernissen und Verkehrsteilnehmern im interessanten Verkehrsraum mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu bestimmen. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, durch Auswertung der Sensorinformationen Kollisionsgefahren zu erkennen und gegebenenfalls mittels einer in Echtzeit arbeitenden Einrichtung zur Kollisionsvermeidung unter Berücksichtigung vorgegebener Beschränkungen Ausweichbahnen zu bestimmen und der Regelung für die automatische Fahrzeugführung entsprechende Sollwerte vorzugeben.

6. Lösung

Die Aufgabe wird bezüglich des Verfahrens entsprechend den im Anspruch 1 und bezüglich der Vorrichtung entsprechend den im Anspruch 14 bzw. 22 angegebenen Merkmalen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Der erzielte Vorteil der Erfindung besteht darin, daß die automatische Kollisionvermeidung in der Lage ist, schnell, d. h. ohne Schrecksekunde, kritische Verkehrssituationen zu erkennen und bei Kollisionsgefahr ohne Verzögerung in Echtzeit situationsgerechte Ausweichmanöver einleitet. Damit ist es möglich, in Situationen, in denen der Führer eines Fahrzeuges nicht mehr rechtzeitig und richtig reagieren kann, durch automatische Fahrmanöver Unfälle zu vermeiden und die Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen. Darüber hinaus werden bei der Einleitung von Kollisionsvermeidungsmanövern vorgegebene Beschränkungen, wie z. B. die begrenzte

Fahrbahnbreite und die maximale Beschleunigung und Verzögerung des Fahrzeugs berücksichtigt.

Es wird nochmals angemerkt, daß die gesamte Schaltungsanordnung in Digital- oder Analogtechnik ausgeführt sein kann. Ebenso möglich ist eine fest verdrahtete Vorrichtung, wobei aber genauso das gesamte Verfahren und die Vorrichtung unter Verwendung eines Mikroprozessors mit nur entsprechend einem Softwareprogramm aktuell hergestellten Rechen-, Steuer- bzw. Schaltzuständen eine entsprechende funktionelle Steuerung durchgeführt werden kann.

Die Erfindung wird in den Abschnitten 6.1 bis 6.6 beschrieben und an Ausführungsbeispielen dargestellt.

Zur weiteren Erläuterung sind die folgenden Figuren beigelegt:

- Fig. 1: Schematischer Aufbau eines automatisch fahrbaren Fahrzeugs mit Kollisionsvermeidungsvorrichtung
- Fig. 2: Gesamtstruktur der Fahrzeugführung
- Fig. 3: Einrichtung B zur Bestimmung der Fahrzeugsollbeschleunigung a_F
- Fig. 4: Block 1 zur Ermittlung der Kollisionsparameter bei geradenförmiger Bahnabschätzung
- Fig. 5: Block 1.1 (Bestandteil des Blocks 1)
- Fig. 6: Block 1.2 (Bestandteil des Blocks 1)
- Fig. 7: Block 1.3 (Bestandteil des Blocks 1)
- Fig. 8: Block 1.4 (Bestandteil des Blocks 1)
- Fig. 9: Block 1.5 (Bestandteil des Blocks 1)
- Fig. 10: Block 1.6 (Bestandteil des Blocks 1)
- Fig. 11: Block 1.7 (Bestandteil des Blocks 1)
- Fig. 12: Bahnabschätzung für die Kollisionsparameterbestimmung
- Fig. 13: Einrichtung KP zur Kollisionsparameterbestimmung
- Fig. 14: Einrichtung KE zur Kollisionserkennung
- Fig. 15: Einrichtung S zur dynamischen Festlegung des Mindestabstandes
- Fig. 16: Sonderfall der Kollisionsvermeidung durch Bremsmanöver
- Fig. 17: Einrichtung KV1 zur Kollisionsvermeidung durch Brems- oder Beschleunigungsmanöver
- Fig. 18: Block 1.8 (Bestandteil des Blocks KV1)
- Fig. 19: Bestimmung der Positionsquerverschiebung für seitliche Ausweichmanöver
- Fig. 20: Einrichtung KV2 zur Kollisionsvermeidung durch seitliche Ausweichmanöver
- Fig. 21: Block 2.1 (Bestandteil der Einrichtung KV2)
- Fig. 22: Block 2.2 (Bestandteil der Einrichtung KV2)
- Fig. 23: Block 2.3 (Bestandteil der Einrichtung KV2)
- Fig. 24: Einrichtung R zur Rückführung der Sollbahn nach einem seitlichen Ausweichmanöver
- Fig. 25: Einrichtung KV3 zur Kollisionsvermeidung durch Folgen
- Fig. 26: Anwendungsbeispiel 1
- Fig. 27: Einrichtung KV-AUS zur Sollgrößenfestlegung
- Fig. 28: Einrichtung KV4 für eine vereinfachte Kollisionsvermeidung
- Fig. 29: Einrichtung R4 zur Rückführung der Sollbahn nach einem Ausweichmanöver mittels der Einrichtung KV4
- Fig. 30: Anwendungsbeispiel 2
- Fig. 31: Einrichtung KV4-AUS zur Sollgrößenfestlegung

6.1 Kollisionsvermeidung für automatisch fahrbare Fahrzeuge

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur automatischen Kollisionsvermeidung in Echtzeit für automatisch fahrbare Fahrzeuge gelöst. Dies erfolgt dadurch, daß aktuelle Daten über die Sollposition, den Sollkurswinkel, die Sollgeschwindigkeit, die Sollbeschleunigung und den Krümmungsradius der Sollbahn des Fahrzeugs sowie über die Position, den Kurswinkel, die Geschwindigkeit und den Krümmungsradius der Bahn eines Hindernisses durch am Fahrzeug angebrachte Sensoren ermittelt werden und/oder ganz oder teilweise durch eine externe Einrichtung mittels Datenübertragung zum Fahrzeug übermittelt werden und/oder ganz oder teilweise aus der zeitlichen Änderung der Fahrzeugsollposition und der Hindernisposition bestimmt werden. Ferner ist vorgesehen, daß die Kollisionsvermeidungsvorrichtung anhand der vorgegebenen Daten die Bahn des Hindernisses und die Sollbahn des Fahrzeugs vorausschauend abschätzt, den Zeitpunkt der engsten Annäherung zwischen dem Fahrzeug und dem Hindernis sowie mindestens den Abstand der engsten Annäherung, gegebenenfalls zusätzlich den Winkel der engsten Annäherung, auf den abgeschätzten Bahnen bestimmt, anhand der noch verbleibenden Zeit bis zur engsten Annäherung und des Abstandes der engsten Annäherung eine eventuelle Kollisionsgefahr feststellt und gegebenenfalls die Sollposition und den Sollkurswinkel oder die Sollgeschwindigkeit und die Sollbeschleunigung dahingehend verändert, daß das Fahrzeug das Hindernis unter Einhaltung eines Mindestabstandes passiert oder ihm folgt. Schließlich wirken die ursprünglichen oder die im Fall einer Kollisionsgefahr veränderten Sollbahndaten durch eine Einrichtung zur Fahrzeugregelung auf Stellglieder für die Lenkung und/oder den Antrieb und die Bremsanlage des Fahrzeugs.

6.1.1 Aufbau und Gesamtstruktur der Fahrzeugführung

Der erfindungsgemäßen Lösung der Aufgabenstellung liegt ein hierarchisch strukturiertes Konzept der Fahrzeugführung zugrunde.

Ein am Fahrzeug angebrachtes Multisensorsystem beobachtet den Verkehrsraum vor dem Fahrzeug (Fig. 1). Aus den Sensordaten und vom Fahrer vorgegebenen Daten, z. B. über eine Sollgeschwindigkeit oder einen Sollkurswinkel, werden Sollgrößen für die Position (x_F , y_F), die Geschwindigkeit v_F und den Kurswinkel φ_F des

Fahrzeuges sowie der Krümmungsradius des Fahrbahnverlaufes r_F bestimmt. Mittels Datenübertragung können diese Daten auch an andere Verkehrsteilnehmer weitergegeben werden.

Die Sollwertvorgabe bildet die obere Ebene der hierarchischen Struktur der Fahrzeugführung (Fig. 2). Die Ebene der Sollwertvorgabe übergibt die Sollgrößen x_F , y_F , v_F , φ_F und r_F an die darunterliegende Ebene der Kollisionsvermeidung. Aufgrund der Ebene der Kollisionsvermeidung ist es, vorausschauend anhand noch näher zu erläuternder Verfahren die vorgegebenen Sollwerte daraufhin zu überprüfen, ob Kollisionsgefahr mit Hindernissen oder anderen Verkehrsteilnehmern besteht und nötigenfalls neue Sollwerte für ein Fahrmanöver zur Vermeidung einer Kollision zu bestimmen. Hierbei werden andere Verkehrsteilnehmer im Sinne der Kollisionsvermeidungsstrategie auch als Hindernisse betrachtet.

Das bordeigene Multisensorsystem erkennt Hindernisse und andere Verkehrsteilnehmer in der Umgebung des Fahrzeugs. Die Position (x_H , y_H) eines Hindernisses, dessen Geschwindigkeit v_H , Kurswinkel φ_H , Beschleunigung a_H und Bahnkrümmungsradius r_H werden ermittelt oder aus der zeitlichen Positionsänderung bestimmt und der Kollisionsvermeidungsvorrichtung übergeben. Die Krümmungsradien der Hindernisbahn und der Fahrzeugsbahn werden in Linkskurven positiv und in Rechtskurven negativ gerechnet.

Durch Datenübertragung zwischen verschiedenen Verkehrsteilnehmern und möglichen zentralen Einrichtungen können ferner sensorisch nicht oder nur ungenau erfaßbare Daten ausgetauscht. Wenn die Kollisionsvermeidungsvorrichtung anhand der Daten über das eigene Fahrzeug und über andere Verkehrsteilnehmer bzw. Hindernisse keine Kollisionsgefahr feststellt, werden die Sollwerte der Sollbahnvorgabe direkt auf die Ebene der Fahrzeugregelung durchgeschaltet. Im Falle einer Kollisionsgefahr werden die neu berechneten kollisionsfreien Sollwerte weitergegeben.

Auf der Ebene der Fahrzeugregelung werden mit Hilfe geeigneter Regelungsverfahren die Stellgrößen (Beschleunigungs- bzw. Bremskräfte, Lenkwinkel) bestimmt, die auf die Fahrzeugdynamik wirken. Insoweit wird auch auf die vom gleichen Anmelder am gleichen Tag eingereichte Patentanmeldung mit dem Titel "Verfahren und Vorrichtung zur automatischen Führung der Längs- und Querbewegungen von Fahrzeugen" verwiesen, deren Offenbarungsgehalt in vollem Umfange und ohne jede Beschränkung ausdrücklich zum Inhalt dieser Anmeldung gemacht wird.

6.1.2 Verfahren und Einrichtung KP zur Kollisionsparameterbestimmung

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Kollisionsvermeidung beinhaltet eine Abschätzung des zu erwartenden künftigen Verlaufes der Sollbahn des Fahrzeuges und der Bahn des Hindernisses anhand aktueller Daten über die Sollbahn des Fahrzeuges und die Bahn des Hindernisses. Aus der Abschätzung der Bahnverläufe ermittelt eine Vorrichtung zur Kollisionsparameterbestimmung die drei Kollisionsparameter Kollisionsabstand r_K , Kollisionswinkel φ_K und Kollisionszeit t_K . Die Kollisionszeit t_K gibt die noch verbleibende Zeitspanne t_K bis zur erwarteten engsten Annäherung des Fahrzeuges und des Hindernisses an. Zum Zeitpunkt der engsten Annäherung befinden sich das Fahrzeug und das Hindernis im Kollisionsabstand r_K und im Kollisionswinkel φ_K zueinander. Der Kollisionswinkel φ_K bezieht sich auf ein ortsfestes Koordinationssystem.

Mit Hilfe der Kollisionsparameter t_K und r_K wird eine Kollisionsgefahr erkannt (Abschnitt 6.1.3). Darüber hinaus gehen die Kollisionsparameter auch in die Sollwertbestimmung für Kollisionsvermeidungsmanöver ein.

Die Kollisionsparameter werden während der Fahrt ständig auf Basis der aktuellen Sensordaten über die Sollbahn des Fahrzeuges und die Bahn des Hindernisses nach dem im folgenden beschriebenen Verfahren neu bestimmt.

Zur Erläuterung des Verfahrens wird zunächst angenommen, daß die Kurswinkel bis zur engsten Annäherung konstant sind. Die zukünftigen Verläufe der Fahrzeugsbahn und der Hindernisbahn werden geradenförmig abgeschätzt. Die Kollisionsvermeidungsvorrichtung erhält aus der Ebene der Sollbahnvorgabe die Sollwerte für die Position (x_F , y_F), die Geschwindigkeit v_F und den Kurswinkel φ_F des Fahrzeuges sowie durch die sensorische Hinderniserkennung die Position (x_H , y_H), die Geschwindigkeit v_H , die Beschleunigung a_H und den Kurswinkel φ_H des Hindernisses (Fig. 2). Die Krümmungsradien r_F und r_H bleiben bei den geradenförmigen Bahnabschätzungen unberücksichtigt. Alle Eingangssignale der Kollisionsvermeidungseinrichtung werden in zeitlichen Abständen Δt durch Sample & Hold-Glieder abgetastet und für die weitere Signalverarbeitung über einen Zeitschnitt Δt konstant gehalten.

Für die Bestimmung der Kollisionsparameter wird zusätzlich die Sollbeschleunigung a_F benötigt, die mit Hilfe der in Fig. 3 dargestellten Vorrichtung B ermittelt wird oder auch als zusätzliche Eingangsgröße aus der Ebene der Sollbahnvorgabe vorgegeben wird. Eingangsgrößen der Vorrichtung B sind die Sollgeschwindigkeit v_F aus der Ebene der Sollwertvorgabe und die Sollgeschwindigkeit v_{KV} , die als Ausgangsgröße der Kollisionsvermeidung an die Ebene der Regelung weitergegeben wird. v_{KV} wird vom Ausgang der Kollisionsvermeidungseinrichtung auf den Eingang der Vorrichtung B zurückgekoppelt.

Die im Summierer 1 gebildete Differenz $v_F - v_{KV}$ wird im Multiplizierer 3 mit dem Faktor α_V multipliziert und im Sättigungsglied 5 auf den Bereich $[a_{min}, a_{max}]$ beschränkt.

a_{max} und a_{min} sind frei vorgebbare Höchstwerte für die Fahrzeugsollbeschleunigung bzw. -verzögerung.

Mit den Größen x_F , y_F , v_F , v_{KV} , a_F , x_H , y_H , v_H , φ_H , a_H zum Zeitpunkt t_0 kann vorausschauend für $t > t_0$ der weitere Bahnverlauf $\hat{x}_F(t)$, $\hat{y}_F(t)$ des Fahrzeuges und $\hat{x}_H(t)$, $\hat{y}_H(t)$ des Hindernisses in kartesischen Koordinaten abgeschätzt werden. Im folgenden wird zuerst das Verfahren erläutert, das der Bestimmung der Kollisionsparameter t_K , r_K und φ_K zugrunde liegt und dann die Vorrichtung beschrieben. Anschließend werden das Verfahren und die Vorrichtung für nicht geradenförmige Bahnabschätzungen erweitert.

Wenn man, ohne die Allgemeinheit der Betrachtungen einzuschränken, t_0 gleich Null setzt, gelten die Abschätzungen

$$\begin{aligned} \bar{x}_F(t) &= x_F + (v_{Kv}t + 1/2 a_F t^2) \cos v_F \\ \bar{y}_F(t) &= y_F + (v_{Kv}t + 1/2 a_F t^2) \sin v_F \\ \bar{x}_H(t) &= x_H + (v_{Ht} + 1/2 a_H t^2) \cos v_H \\ \bar{y}_H(t) &= y_H + (v_{Ht} + 1/2 a_H t^2) \sin v_H \end{aligned}$$

Für die zeitliche Abstandsänderung r_x , r_y in kartesischen Koordinaten zwischen Fahrzeug und Hindernis ergibt sich

$$\begin{aligned} r_x(t) &= \bar{x}_F(t) - \bar{x}_H(t) \\ r_y(t) &= \bar{y}_F(t) - \bar{y}_H(t) \end{aligned}$$

Mit den Abkürzungen

$$\begin{aligned} x &= x_F - x_H \\ y &= y_F - y_H \\ v_x &= v_{Kv} \sin v_F - v_H \cos v_H \\ v_y &= v_{Kv} \cos v_F - v_H \sin v_H \\ a_x &= a_F \cos v_F - a_H \cos v_H \\ a_y &= a_F \sin v_F - a_H \sin v_H \end{aligned}$$

kann man für $r_x(t)$ und $r_y(t)$ auch schreiben:

$$\begin{aligned} r_x(t) &= x + v_x t + 1/2 a_x t^2 \\ r_y(t) &= y + v_y t + 1/2 a_y t^2 \end{aligned}$$

Der Abstand $r(t)$ zwischen Fahrzeug und Hindernis berechnet sich zu

$$r(t) = \sqrt{r_x(t)^2 + r_y(t)^2}.$$

Als Kollisionszeit t_K wird von der Kollisionsvermeidungseinrichtung die noch verbleibende Zeit bis zum nächsten zukünftigen Minimum der Funktion $r(t)$ bestimmt. Der Zeitpunkt t_K ergibt sich aus der zeitlichen Ableitung der Funktion $r(t)$ durch die Forderung:

$$\left. \frac{d}{dt} r(t) \right|_{t=t_K} \stackrel{!}{=} 0$$

bzw.

$$(x + v_x t_K + 1/2 a_x t_K^2) (v_x + a_x t_K) + (y + v_y t_K + 1/2 a_y t_K^2) (v_y + a_y t_K) \stackrel{!}{=} 0$$

Es müssen die Nullstellen der kubischen Gleichung

$$t_K^3 + c_2 t_K^2 + c_1 t_K + c_0 = 0$$

bestimmt werden.

Für die Koeffizienten c_2 , c_1 und c_0 gilt:

$$c_2 = 3 \frac{a_x v_x + a_y v_y}{a_x^2 + a_y^2}$$

$$c_1 = 2 \frac{v_x^2 + x a_x + v_y^2 + y a_y}{a_x^2 + a_y^2}$$

$$c_0 = 2 \frac{x v_x + y v_y}{a_x^2 + a_y^2}$$

Dies geschieht in einfacher Weise mit Hilfe der in der Literatur bekannten Cardanischen Lösungsformel (s. z. B. Bronstein/Semendjajew: Taschenbuch der Mathematik 19. Auflage, S. 183). Man erhält eine reelle Lösung t_{K0} oder drei reelle Lösungen t_{K1} , t_{K2} und t_{K3} der kubischen Gleichung. Damit die Funktion $r(t)$ ein Minimum in einer der drei Lösungen hat, muß weiterhin die Forderung

$$\left. \frac{d}{dt^2} r(t) \right|_{t=t_K} \stackrel{!}{<} 0$$

bzw.

$$3t_K^2 + 2c_2t_K + c_1 > 0$$

erfüllt sein. Bei der Existenz von drei reellen Lösungen der kubischen Gleichung erhält die Kollisionsvermeidungseinrichtung durch Überprüfung dieser Forderung zwei Minima des Abstands $r(t)$, von denen das zeitlich nächstliegende zukünftige Minimum die relevante Kollisionszeit t_K bis zur engsten Annäherung zwischen Fahrzeug und Hindernis angibt.

Zum Zeitpunkt t_K befinden sich das Fahrzeug und das Hindernis in x- und in y-Koordinaten in den Abständen

$$\begin{aligned} r_{Kx} &= x + v_x t_K + \frac{1}{2} a_x t_K^2 \\ r_{Ky} &= y + v_y t_K + \frac{1}{2} a_y t_K^2 \end{aligned}$$

zueinander.

Die Kollisionsvermeidungseinrichtung ermittelt den Kollisionsabstand r_K und den Kollisionswinkel φ_K als

$$\begin{aligned} r_K &= \sqrt{r_{Kx}^2 + r_{Ky}^2}, \\ \varphi_K &= \arctan \frac{r_{Ky}}{r_{Kx}}. \end{aligned}$$

Im Falle einer unbeschleunigten relativen Bewegung zwischen dem Hindernis und dem Fahrzeug ($a_x = a_y = 0$) vereinfacht sich die kubische Gleichung zu einer linearen Gleichung und die Kollisionsvermeidungseinrichtung bestimmt die Kollisionszeit $t_K = t_{K4}$ als

$$t_{K4} = - \frac{xv_x + yv_y}{v_x^2 + v_y^2}.$$

Die mit Block 1 bezeichnete Einrichtung in Fig. 4 bestimmt nach dem oben beschriebenen Verfahren die Kollisionsparameter t_K , r_K und φ_K mit Hilfe geradenförmiger Bahnabschätzungen.

Block 1 ist unterteilt in die Unterblöcke 1.1 bis 1.7 (Übertragungsglieder 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 und 18), die in den Fig. 5 bis 11 noch einmal einzeln dargestellt sind.

Block 1.1 (Fig. 5) bestimmt aus den Eingangssignalen x_F , y_F , v_F , v_{KV} , a_F , x_H , y_H , v_H , v_{HV} und a_H die Koeffizienten c_2 , c_1 und c_0 der kubischen Gleichung. Außerdem ermittelt Block 1.1 die Kollisionszeit t_{K4} , die sich im Fall $a_x^2 + a_y^2 \approx 0$ durch Lösung der vereinfachten linearen Gleichung ergibt. t_{K4} und das Beschleunigungsquadrat $a^2 = a_x^2 + a_y^2$ sind neben c_2 , c_1 und c_0 Ausgangsgrößen von Block 1.1.

Nach der Bestimmung der Sinuswerte (Sinusglied 11 und 15) und der Cosinuswerte (Cosinusglied 13 und 17) der Kurswinkel v_F und v_H und der Zerlegung der Geschwindigkeiten v_{KV} (Multiplizierer 21 und 19), v_H (Multiplizierer 29 und 27) und der Beschleunigungen a_F (Multiplizierer 25 und 23), a_H (Multiplizierer 33 und 31) in ihre Anteile in x- und y-Richtung ergeben sich die Relativposition x , y (Summierer 35 und 37), die Relativgeschwindigkeiten v_x , v_y (Summierer 41 und 39) und die Relativbeschleunigungen a_x , a_y (Summierer 45 und 43). Als nächstes werden die Größen v_y^2 (Multiplizierer 47), v_x^2 (Multiplizierer 49), a_y^2 (Multiplizierer 51), a_x^2 (Multiplizierer 53), xv_x (Multiplizierer 55), yv_y (Multiplizierer 57), xa_x (Multiplizierer 59), ya_y (Multiplizierer 61), $a_x v_x$ (Multiplizierer 63) und $a_y v_y$ (Multiplizierer 65) bestimmt. Der Summierer 69 addiert a_x^2 und a_y^2 zur Ausgangsgröße a^2 . Die Größen v_x^2 und v_y^2 werden im Summierer 67 addiert. Um Divisionen durch Nullen in den Dividierern 89, 91, 93 oder 95 zu vermeiden, werden die Ausgangsgrößen der Summierer 67 und 69 in den Maximumgliedern 85 und 87 beim Unterschreiten der Werte ϵ_{v2} oder ϵ_{a2} durch ϵ_{v2} bzw. ϵ_{a2} ersetzt.

Der Dividierer 89 bestimmt c_2 , indem er die Summe der Signale $a_x v_x$ und $a_y v_y$ (Summierer 75), die zuvor im Proportionalglied 79 mit dem Faktor 3 multipliziert wird, durch das Ausgangssignal des Maximumgliedes 87 dividiert. Der Dividierer 91 bestimmt die Ausgangsgröße c_1 des Blocks 1.1, indem er die Summe der Größe v_x^2 , v_y^2 , xa_x und ya_y (Summierer 67, 73 und 77), die im Proportionalglied 81 mit dem Faktor 2 multipliziert wird, durch das Ausgangssignal des Maximumgliedes 87 dividiert.

Die Größen xv_x und yv_y werden im Summierer 71 addiert, im Proportionalglied 83 mit dem Faktor 2 multipliziert und im Dividierer 93 durch das Ausgangssignal des Maximumgliedes 87 dividiert. Damit liegt die Größe c_0 als Ausgangssignal des Dividierers 93 vor. Der Dividierer 95 bestimmt die Ausgangsgröße t_{K4} , indem er das Ausgangssignal des Summierers 71, das im Proportionalglied 84 invertiert wird, durch das Ausgangssignal des Maximumgliedes 85 dividiert.

Der Block 1.2 dient dazu, die Koeffizienten c_2 , c_1 und c_0 , die Ausgangsgrößen des Blocks 1.1 sind, auf die Koeffizienten der reduzierten kubischen Gleichung (s. Bronstein/Semendjajew: Taschenbuch der Mathematik, 19. Auflage, S. 183) zu transformieren. Hierzu wird die Größe c_2 im Multiplizierer 97 mit c_1 multipliziert und das Ergebnis im Proportionalglied 99 mit dem Faktor 1/3 gewichtet. Im Multiplizierer 103 wird c_2 quadriert und das Quadrat im Multiplizierer 105 noch einmal mit c_2 multipliziert. Die Ausgangssignale der Multiplizierer 103 und 105 werden durch die Proportionalglieder 107 bzw. 109 mit den Faktoren 1/3 bzw. 2/27 multipliziert. Die Ausgangsgröße p ergibt sich durch Subtraktion (Summierer 111) des Ausgangssignals des Proportionalgliedes 107 von der Eingangsgröße c_1 . Der Summierer 101 bildet die Ausgangsgröße q durch Addition der Eingangsgröße c_0 mit dem Ausgangssignal des Proportionalgliedes 109 und Subtraktion des Ausgangssignals des Proportionalgliedes 99.

Nachdem im Block 1.1 die Koeffizienten c_2 , c_1 und c_0 des kubischen Polynoms bestimmt wurden und Block 1.2

diese auf die Koeffizienten p und q eines reduzierten Polynoms transformiert hat, ermittelt Block 1.3 (Fig. 7) nun die Nullstellen des reduzierten Polynoms und transformiert sie zurück auf das ursprüngliche Polynom.

Hierzu werden als erstes aus den Eingangssignalen p und q , die die Größen D und ρ bestimmt, ρ ist das Ausgangssignal des Wurzelgliedes 139. Das Eingangssignal des Wurzelgliedes 139 wird durch Multiplikation von p mit dem Faktor $1/3$ (Proportionalglied 115), anschließendes Quadrieren (Multiplizierer 119) und nochmalige Multiplikation mit $p/3$ (Multiplizierer 123) bestimmt. Die Größe D ist das Ausgangssignal des Summierers 125, der zum Ausgangssignal des Multiplizierers 123 das Quadrat (Multiplizierer 121) der mit $1/2$ gewichteten Eingangsgröße q addiert (Proportionalglied 117). Die Größe D ist Ausgangssignal des Blocks 1.3. Wenn D größer ist als Null, hat die kubische Gleichung nur eine reelle Lösung t_{K0} (Summierer 137). Andernfalls gibt es drei reelle Lösungen t_{K1} , t_{K2} und t_{K3} (Summierer 167, 169 und 171).

Zur Bestimmung von t_{K0} wird die Quadratwurzel aus D berechnet (Wurzelglied 127). Vom positiven Wert (Summierer 129) und vom negativen Wert der Quadratwurzel (Summierer 130) wird das Ausgangssignal $q/2$ des Proportionalgliedes 117 subtrahiert. Aus den Ausgangssignalen der Summierer 130 und 129 wird in den Wurzelgliedern 131 und 133 die dritte Wurzel gezogen und anschließend werden beide Signale im Summierer 135 addiert. Das Ausgangssignal des Summierers 135 ist die reelle Lösung des reduzierten Polynoms im Falle D größer Null. Durch Subtraktion von $c_2/3$ (Proportionalglied 113) im Summierer 137 ergibt sich die entsprechende Lösung t_{K0} des ursprünglichen Polynoms.

Zur Bestimmung der Lösungen t_{K1} , t_{K2} und t_{K3} im Fall D kleiner Null wird die Ausgangsgröße $q/2$ des Proportionalgliedes 117 mit negativem Vorzeichen im Dividierer 143 durch die Größe ρ (Ausgangsgröße des Wurzelgliedes 139) dividiert. Vom Ergebnis der Division wird im Arcuscossinusglied 147 der Arcuscossinus berechnet und dieser anschließend im Proportionalglied 149 mit dem Faktor $1/3$ multipliziert. Das Ausgangssignal des Proportionalgliedes 149 geht auf die Summierer 153 und 155, wo die Werte $2\pi/3$ bzw. $4\pi/3$ aufaddiert werden. Auf die Cosinusglieder 151, 157 und 159 werden die Ausgangssignale des Proportionalgliedes 149 bzw. der Summierer 153 und 155 geschaltet. Die Lösungen der reduzierten Gleichung ergeben sich als Ausgangssignale der Multiplizierer 161, 163 und 165, die die Cosinussignale der Cosinusglieder 151, 157 und 159 mit dem Ausgangssignal des Proportionalgliedes 145 multiplizieren. Das Proportionalglied 145 multipliziert die im Wurzelglied 141 gebildete dritte Wurzel der Größe ρ (Ausgangssignal des Wurzelgliedes 139) mit dem Faktor 2. Durch Subtraktion des Ausgangssignales des Proportionalgliedes 113 von den Ausgangssignalen der Multiplizierer 161, 163 und 165 in den Summierer 167, 169 und 171 werden die Ausgangsgrößen t_{K1} , t_{K2} und t_{K3} des Blocks 1.3 gebildet.

Die Ausgangssignale a^2 , c_2 , c_1 und t_{K4} des Blocks 1.1 sowie die Ausgangssignale D , t_{K0} , t_{K1} , t_{K2} und t_{K3} des Blocks 1.3 sind Eingangssignale des Blocks 1.4 (Fig. 8), der die Kollisionszeit t_K bestimmt. Die im folgenden häufig verwendeten Schaltglieder (z. B. Schaltglied 213) schalten bei positivem Signal am Steuereingang das mit "+" gekennzeichnete Eingangssignal durch. Andernfalls wird das mit "-" gekennzeichnete Eingangssignal weitergeschaltet. Wenn das am Steuereingang des Schaltgliedes 213 anliegende Ausgangssignal des Summierers 211, der den Parameter ε_{a^2} vom Eingangssignal a^2 subtrahiert negativ ist, d. h. wenn das Eingangssignal a^2 des Blocks 1.4 kleiner ist als der frei einstellbare Parameter ε_{a^2} , wird das Eingangssignal t_{K4} des Blocks 1.4 direkt als Ausgangssignal t_K durchgeschaltet. Als Parameter ε_{a^2} wird der untere Grenzwert eingestellt, ab dem a^2 als gleich Null gilt. Wenn a^2 größer ist als ε_{a^2} wird das Ausgangssignal des Schaltgliedes 209 weitergeschaltet. Als Steuersignal des Schaltgliedes 209 dient das Eingangssignal D , so daß bei positivem D das Eingangssignal t_{K0} des Blocks 1.4 auf den positiven Eingang des Schaltgliedes 213 durchgeschaltet wird. Bei negativem D schaltet das Schaltglied 209 das Ausgangssignal des Schaltgliedes 207 durch. Das Ausgangssignal des Schaltgliedes 207 gibt bei der Existenz von drei reellen Nullstellen des kubischen Polynoms (negatives D) die relevante Kollisionszeit t_K an.

Um diese zu ermitteln wird das Eingangssignal t_{K1} im Proportionalglied 173 mit dem Faktor 2 gewichtet und dann im Multiplizierer 175 mit der Eingangsgröße c_2 multipliziert. Im Summierer 189 wird das Ausgangssignal des Multiplizierers 175 zur Eingangsgröße c_1 und zur Ausgangsgröße des Proportionalgliedes 179 addiert, welche sich ergibt aus dem Quadrat der Eingangsgröße t_{K1} (Multiplizierer 177) multipliziert mit dem Faktor 3 (Proportionalglied 179). Analog wird das Eingangssignal t_{K2} im Proportionalglied 181 mit dem Faktor 2 gewichtet und dann im Multiplizierer 183 mit der Eingangsgröße c_2 multipliziert. Im Summierer 191 wird das Ausgangssignal des Multiplizierers 183 zur Eingangsgröße c_1 und zur Ausgangsgröße des Proportionalgliedes 187 addiert, welche sich ergibt aus dem Quadrat der Eingangsgröße t_{K2} (Multiplizierer 185) multipliziert mit dem Faktor 3 (Proportionalglied 187).

Die Ausgangssignale der Summierer 191 und 189 sind die Steuersignale der Schaltglieder 193 und 195. Bei positivem Ausgangssignal des Summierers 191 schaltet das Schaltglied 193 die Eingangsgröße t_{K2} durch. Ansonsten wird die Eingangsgröße t_{K3} durchgeschaltet. Bei positivem Ausgangssignal des Summierers 189 schaltet das Schaltglied 195 die Eingangsgröße t_{K1} durch. Ansonsten wird die Eingangsgröße t_{K3} durchgeschaltet. Die beiden Ausgangssignale der Schaltglieder 193 und 195 geben die Zeitpunkte der Abstandsminima an.

Das Ausgangssignal des Schaltgliedes 193 geht auf den Steuereingang und den positiven Eingang des Schaltgliedes 199 sowie auf den negativen Eingang des Schaltgliedes 197. Umgekehrt geht das Ausgangssignal des Schaltgliedes 195 auf den Steuereingang und den positiven Eingang des Schaltgliedes 197 und auf den negativen Eingang des Schaltgliedes 199. In dem Sonderfall, daß eines der Ausgangssignale der Schaltglieder 193 und 195 positiv ist und eines negativ ist, wird sowohl vom Schaltglied 197, als auch vom Schaltglied 199 das positive Signal weitergegeben. Die Ausgangssignale der Schaltglieder 197 und 199 gehen auf die Betragsglieder 201 bzw. 203. Im Summierer 205 wird vom Ausgangssignal des Betragsgliedes 203 das Ausgangssignal des Betragsgliedes 201 subtrahiert. Das Ausgangssignal des Summierers 205 ist Steuersignal des Schaltgliedes 207. Am positiven Eingang des Schaltgliedes 207 liegt das Ausgangssignal des Schaltgliedes 197. Am negativen Eingang des Schaltgliedes 207 liegt das Ausgangssignal des Schaltgliedes 199.

Der in Block 1 (Fig. 4) zweifach (Fahrzeug und Hindernis, Übertragungsglied 10 und 12) verwendete Block 1.5 (Fig. 9) bestimmt die zurückgelegte Strecke Δs (Ausgangsgröße des Summierers 223) und den Kurswinkel φ (Ausgangsgröße des Summierers 227) des Fahrzeugs bzw. des Hindernisses nach Ablauf der Kollisionszeit t_K . Eingangsgroßen des Blocks sind die Kollisionszeit t_K , die Geschwindigkeit v , die Beschleunigung a , der Kurswinkel φ und der Krümmungsradius r . Der Summierer 223 addiert das Produkt der Eingangsgrößen t_K und v (Multiplizierer 215) zu dem Produkt des Quadrates der Eingangsgröße t_K (Multiplizierer 217) mit der Eingangsgröße a (Multiplizierer 219) und dem Faktor $1/2$ (Proportionalglied 221). Ausgangsgröße des Summierers 223 ist die Strecke Δs . Der Dividierer 225 dividiert Δs durch den Krümmungsradius r . Das Ausgangssignal des Dividierers wird im Summierer 227 mit der Eingangsgröße v addiert. Das Ergebnis der Summation ist die Ausgangsgröße φ des Blocks 1.5. Bei geradenförmiger Sollbahnabschätzung (unendlicher Krümmungsradius) ist das Ausgangssignal des Dividierers 225 gleich Null, so daß die Eingangsgröße v des Blocks direkt als Ausgangsgröße φ durchgeschaltet ist.

Ebenso wie Block 1.5 ist auch der folgende Block 1.6 (Fig. 10) doppelt (d. h. einmal für das Fahrzeug und einmal für das Hindernis, Übertragungsglied 14 und 16) im Block 1 (Fig. 4) vorhanden. Block 1.6 bestimmt die Position des Fahrzeugs bzw. des Hindernisses in x -Koordinate (Ausgangssignal des Summierers 257) und y -Koordinate (Ausgangssignal des Summierers 259) nach Ablauf der Zeit t_K . Eingangssignale des Blocks 1.6 sind die augenblickliche Position (x, y) , der Krümmungsradius r , der von Block 1.5 bestimmte Kurswinkel φ nach Ablauf der Zeit t_K , der augenblickliche Kurswinkel ψ und die von Block 1.5 bestimmte Strecke Δs . Das Sinusglied 229 und das Cosinusglied 231 ermitteln den Sinus bzw. den Cosinus des Winkels φ . Das Sinusglied 233 und das Cosinusglied 235 ermitteln den Sinus bzw. Cosinus des Winkels ψ . Der Summierer 237 subtrahiert den Sinus des Winkels ψ vom Sinus des Winkels φ . Der Summierer 239 subtrahiert den Cosinus des Winkels ψ vom Cosinus des Winkels φ . Die Differenzen der Sinus- bzw. Cosinuswerte werden in den Multiplizierern 241 und 243 mit dem Krümmungsradius r multipliziert. Außerdem werden der Sinus- und der Cosinuswert des Winkels ψ in den Multiplizierern 245 und 247 mit dem Signal Δs multipliziert. Im Betragsglied 249 wird der Betrag des Krümmungsradius gebildet. Der Summierer 251 subtrahiert den frei vorgebbaren Parameter r_{max} vom Betrag des Krümmungsradius. Das Ausgangssignal des Summierers 251 ist Steuersignal der Schaltglieder 253 und 255. Wenn der Betrag des Krümmungsradius größer als der Parameter r_{max} ist, werden \tilde{x} und \tilde{y} auf geradenförmigen Bahnabschätzungen bestimmt. Bei positivem Steuersignal, d. h. wenn der Betrag des Krümmungsradius größer ist als der Parameter r_{max} , schaltet das Schaltglied 253 das Ausgangssignal des Multiplizierers 247 und das Schaltglied 255 das Ausgangssignal des Multiplizierers 245 durch. Andernfalls schaltet das Schaltglied 253 das Ausgangssignal des Multiplizierers 241 und das Schaltglied 255 das Ausgangssignal des Multiplizierers 243 durch. Der Summierer 257 addiert die Ausgangsgröße des Schaltgliedes 253 zur Eingangsgröße x und ermittelt so die Ausgangsgröße \tilde{x} des Blocks 1.6. Die Ausgangsgröße \tilde{y} wird vom Summierer 259 durch Addition der Eingangsgröße y zur Ausgangsgröße des Schaltgliedes 255 gebildet.

Die Ausgangssignale der beiden Blöcke 1.6 sind Eingangssignale als Block 1.7 (Fig. 11) gekennzeichneten Übertragungsgliedes 18 in Fig. 4, der die Kollisionsparameter r_K und φ_K bestimmt. Im Summierer 261 wird die x -Position \tilde{x}_H des Hindernisses von der x -Position \tilde{x}_F des Fahrzeugs subtrahiert. Genauso wird im Summierer 263 die y -Position \tilde{y}_H des Hindernisses von der y -Position \tilde{y}_F des Fahrzeugs subtrahiert. Das Arcustangensglied bildet den Winkel φ_K aus dem Ausgangssignal des Summierers 263 als Gegenkathete und des Summierers 261 als Ankathete. Der Multiplizierer 265 quadriert das Ausgangssignal des Summierers 261 und der Multiplizierer 267 quadriert das Ausgangssignal des Summierers 263. Die beiden Quadrate werden im Summierer 269 addiert. Aus der Summe bestimmt das Wurzelglied 273 die Quadratwurzel. Das Ausgangssignal r_K des Wurzelgliedes 273 ist zusammen mit φ_K Ausgangssignal des Blocks 1.7. Gleichzeitig sind r_K und φ_K zusammen mit der Kollisionszeit t_K (Ausgangssignal des Schaltgliedes 213 in Block 1.4) die Ausgangssignale des übergeordneten Blocks 1.

Die Berechnung der Kollisionsparameter t_K , r_K und φ_K mit der als Block 1 bezeichneten Vorrichtung basiert auf einer geradenförmigen Abschätzung der Fahrzeugsollbahn und der Hindernisbahn für $t > t_0$. Bei einer Änderung der Kurswinkel ist diese Abschätzung nicht mehr exakt. Bei größeren Kurswinkeländerungen müssen deshalb die Krümmungsradien berücksichtigt werden.

Durch eine nicht geradenförmige Abschätzung der Bahnen läßt sich das Abstandsminimum zum Zeitpunkt der engsten Annäherung zwischen Fahrzeug und Hindernis nicht mehr analytisch bestimmen, da nichtlineare Terme auftreten. Deshalb muß die Kollisionszeit t_K , die angibt, wieviel Zeit vom augenblicklichen Zeitpunkt t_0 bis zum Kollisionszeitpunkt $t_0 + t_K$ vergeht, näherungsweise berechnet werden.

Mit der Annahme, daß der Krümmungsradius der Bahnen sich nur unwesentlich ändern, kann eine kreisförmige Abschätzung der Bahnen erfolgen. Wenn sensorisch Änderungen des Krümmungsradius mit hinreichender Genauigkeit erfaßbar sind, können auch diese in die Abschätzung der Bahnen einbezogen werden. In diesem Fall werden die Bahnen nicht kreisförmig mit konstantem Krümmungsradius, sondern mit sich stetig vergrößerndem oder verkleinerndem Krümmungsradius abgeschätzt. Das im folgenden erläuterte Verfahren zur Kollisionsparameterbestimmung für kreisförmige Bahnabschätzungen ist grundsätzlich auch auf andere nicht geradenförmige Abschätzungen anwendbar.

Erfindungsgemäß wird bei nicht geradenförmigen Bahnverläufen des Fahrzeuges oder des Hindernisses eine kreisförmige Abschätzung der künftigen Bahnverläufe vorgenommen.

In äquidistanten Zeitabständen Δt werden die Sensorsignale abgetastet und die Kollisionsvermeidungsvorrichtung führt eine neue Bestimmung der aktuellen Kollisionsparameter durch. Aus dem vorherigen Zeitschritt zum Zeitpunkt $t_0 - \Delta t$ ist die Kollisionszeit $t_{K,alt}$ bekannt. Als voraussichtlicher Kollisionszeitpunkt ergibt sich nach dem letzten Zeitschritt der Zeitpunkt $t_0 - \Delta t + t_{K,alt}$. Im neuen Zeitschritt werden nun die Positionen des Fahrzeuges und des Hindernisses auf den kreisförmig abgeschätzten Bahnen zum Kollisionszeitpunkt $t_0 - \Delta t + t_{K,alt}$ bestimmt. Im ersten Schritt wird $t_{K,alt} = \Delta t$ gesetzt, so daß die zu bestimmenden Positionen gleich

den augenblicklichen Positionen sind.

An die Positionen des Fahrzeuges und des Hindernisses zum Zeitpunkt $t_0 - \Delta t + t_{K,alt}$ auf den abgeschätzten Bahnen werden Tangenten gelegt. Zur Berechnung der aktuellen Kollisionszeit werden nun ein fiktives Fahrzeug und ein fiktives Hindernis eingeführt, die sich auf den Tangentenbahnen bewegen (Fig. 12). Die Kollisionsvermeidungseinrichtung linearisiert also die Kreisbahnen um den Punkt der erwarteten engsten Annäherung. Dabei passieren das reale und das fiktive Fahrzeug bzw. Hindernis zum Zeitpunkt $t_0 - \Delta t + t_{K,alt}$ den jeweiligen Berührungspunkt der Tangenten und der Kreisbahnen. Zu diesem Zeitpunkt stimmen die Kurswinkel, die Geschwindigkeiten und die Positionen des fiktiven und des realen Fahrzeuges bzw. Hindernisses überein. Die Berechnung der aktuellen Kollisionszeit durch die Kollisionsvermeidungsvorrichtung erfolgt, indem das vorher beschriebene Verfahren für geradenförmige Bahnabschätzungen nun auf das fiktive Fahrzeug und Hindernis auf den Tangentenbahnen angewandt wird.

Zusammenfassend kann die erfindungsgemäße Bestimmung der Kollisionsparameter t_K , r_K und ϕ_K durch die Kollisionsvermeidungsvorrichtung folgendermaßen beschrieben werden.

Bei geradenförmiger Bahnabschätzung wird die Kollisionszeit t_K direkt durch Berechnung des nächsten Minimums der Abstandsabschätzung zwischen Fahrzeug und Hindernis bestimmt. Bei nicht geradenförmiger Bahnabschätzung werden die Bahnverläufe durch Tangenten an die erwarteten Punkte der engsten Annäherung aus dem vorherigen Schritt linearisiert und die Kollisionszeit t_K durch Bestimmung des Abstandsminimums für die Tangentenbahnen berechnet. Mit Hilfe der Kollisionszeit t_K wird aus den Bahnabschätzungen der Kollisionsabstand r_K und der Kollisionswinkel ϕ_K zwischen Fahrzeug und Hindernis ermittelt.

Zur Bestimmung der Kollisionsparameter t_K , r_K und ϕ_K nach dem beschriebenen Verfahren mittels kreisförmiger Bahnabschätzung wird die als Block 1 (Fig. 4) bezeichnete Einrichtung KP (Fig. 13) erweitert. Block 1 ist als Übertragungsglied 291 Bestandteil der Einrichtung KP. Die ursprünglichen Eingangssignale x_F , y_F , v_F , ϕ_F , x_H , y_H , v_H und ϕ_H des Blocks 1 werden ersetzt durch \bar{x}_F , \bar{y}_F , \bar{v}_F , $\bar{\phi}_F$, \bar{x}_H , \bar{y}_H , \bar{v}_H und $\bar{\phi}_H$.

\bar{x}_F und \bar{y}_F sind die Ausgangssignale des als Übertragungsglied 277 gekennzeichneten Blocks 1.6 \bar{v}_F ist Ausgangssignal des Blocks 1.5 (Übertragungsglied 275). Dieser Block bestimmt aus der Ausgangsgröße des Summierers 297, die die zu erwartende Kollisionszeit $t_{K,alt} - \Delta t$ nach der Berechnung im letzten Zeitschritt angibt, und den Eingangsgrößen v_F , ϕ_F , a_F und r_F den Kurswinkel \bar{v}_F der Tangentenbahn des fiktiven Fahrzeuges und die verbleibende Strecke bis zum Zeitpunkt $t_0 - \Delta t + t_{K,alt}$. Der Block 1.6 (Übertragungsglied 277) ermittelt die Position \bar{x}_F , \bar{y}_F des Fahrzeuges zum Zeitpunkt $t_0 - \Delta t + t_{K,alt}$ aus den Eingangssignalen x_F , y_F , v_F und r_F und den Ausgangsgrößen des Blocks 1.5 (Übertragungsglied 275). Der Multiplizierer 279 multipliziert das Eingangssignal a_F mit dem Ausgangssignal des Summierers 297. Der Summierer 281 bestimmt das Signal \bar{v}_F , das Eingangssignal des Blocks 1 (Übertragungsglied 291) ist, durch Addition des Eingangssignals v_F zum Ausgangssignal des Multiplizierers 279.

\bar{x}_H und \bar{y}_H sind die Ausgangssignale des als Übertragungsglied 285 gekennzeichneten Blocks 1.6 \bar{v}_H ist Ausgangssignal des Blocks 1.5 (Übertragungsglied 283). Dieser Block bestimmt aus der Ausgangsgröße des Summierers 297, die die zu erwartende Kollisionszeit $t_{K,alt} - \Delta t$ nach der Berechnung im letzten Zeitschritt angibt und den Eingangsgrößen v_H , ϕ_H , a_H und r_H den Kurswinkel \bar{v}_H der Tangentenbahn des fiktiven Hindernisses und die verbleibende Strecke bis zum Zeitpunkt $t_0 - \Delta t + t_{K,alt}$. Der Block 1.6 (Übertragungsglied 285) ermittelt die Position \bar{x}_H , \bar{y}_H des Hindernisses zum Zeitpunkt $t_0 - \Delta t + t_{K,alt}$ aus den Eingangsgrößen x_H , y_H , v_H und r_H und den Ausgangsgrößen des Blocks 1.5 (Übertragungsglied 283). Der Multiplizierer 287 multipliziert das Eingangssignal a_H mit dem Ausgangssignal des Summierers 297. Der Summierer 289 bestimmt das Signal \bar{v}_H , das Eingangssignal des Blocks 1 (Übertragungsglied 291) ist, durch Addition des Eingangssignals v_H zum Ausgangssignal des Multiplizierers 287.

Die Ausgangsgrößen r_K und ϕ_K des Blocks 1 (Übertragungsglied 291) sind direkt auch Ausgangsgrößen der Einrichtung KP. Die dritte Ausgangsgröße des Blocks 1, die in Fig. 4 als Kollisionszeit t_K bezeichnet ist, gibt in der Einrichtung KP nicht mehr direkt die Kollisionszeit, sondern die Änderung Δt_K der Kollisionszeit gegenüber dem Ausgangssignal $t_{K,alt} - \Delta t$ des Summierers 297 an. Der Summierer 293 addiert die Änderung Δt_K zum Ausgangssignal des Summierers 297 und bestimmt so das Ausgangssignal t_K der Einrichtung KP. Das Totzeitglied 295 verzögert das Ausgangssignal t_K um einen Zeitschritt Δt . Der Summierer 297 bildet das Signal $t_{K,alt} - \Delta t$, indem er vom Ausgangssignal des Totzeitgliedes 295 die Zeitschrittwerte Δt subtrahiert.

6.1.3 Verfahren und Einrichtung KE zur Kollisionserkennung

Anhand der Ausgangssignale t_K und r_K der Einrichtung KP (Fig. 13), die in Abschnitt 6.1.2 beschrieben wurde, bestimmt die Kollisionserkennungseinrichtung das Signal kg . Bei positivem kg ist Kollisionsgefahr gegeben. Ansonsten hat kg einen negativen Wert. Wenn Kollisionsgefahr erkannt wird, muß die Kollisionsvermeidungsvorrichtung neue Sollwerte bestimmen und an die Ebene der Fahrzeugregelung weitergeben.

Erfindungsgemäß wird das Signal kg durch die Kollisionserkennungseinrichtung wie folgt bestimmt.

$$kg = \begin{cases} 1 & \text{für } (r_K < h_y \cdot r_{mind}) \wedge (t_K < h_y \cdot t_{krit}) \wedge (t_K > 0) \\ -1 & \text{sonst} \end{cases}$$

Hierbei gibt r_{mind} einen Mindestabstand an, der beim Passieren des Hindernisses eingehalten werden muß. r_{mind} kann der Kollisionserkennungseinrichtung (Fig. 14) als frei wählbarer fester Parameter, aber auch als zeitlich veränderliche Größe in Abhängigkeit, z. B. von der Geschwindigkeit v_F , dem Kurswinkel ϕ_F und dem Kollisionsparameter ϕ_F sowie von Fahrzeugparametern p_1 bis p_m durch eine Einrichtung S (Fig. 15) vorgegeben werden. Die Zeit t_{krit} gibt die sogenannte kritische Zeitspanne an, ab der die automatische Kollisionsvermeidung

frühestens eingreift. Als t_{krit} wird die Zeitspanne vorgegeben, die ein Fahrer benötigt, um selbständig und gezielt ein Kollisionsvermeidungsmanöver durchzuführen. Der Faktor h_y wird abhängig vom Wert kg_{alt} des Signals kg im vorherigen Zeitabschnitt gesetzt.

$$h_y = \begin{cases} 1 & \text{für } kg_{alt} = -1 \\ 1 & \text{für } kg_{alt} = 1 \end{cases}$$

Durch Wahl eines Wertes h_y größer 1 für $kg_{alt} = 1$ wird ein ständiges Wechseln der Größe kg bei Werten r_K und t_K in der Nähe von r_{mind} und t_{krit} verhindert.

Die Einrichtung KE zur Kollisionserkennung ist in Fig. 14 dargestellt. Im Multiplizierer 301 wird das Eingangssignal r_{mind} mit dem Faktor h_y , der Ausgangssignal des Schaltgliedes 315 ist, multipliziert. Ebenso wird der Parameter t_{krit} im Multiplizierer 303 mit dem Faktor h_y multipliziert. Im Summierer 305 wird das Eingangssignal r_K vom Ausgangssignal des Multiplizierers 301 subtrahiert. Im Summierer 307 wird das Eingangssignal t_K vom Ausgangssignal des Multiplizierers 303 subtrahiert. Das Ausgangssignal des Summierers 307 ist Steuersignal des Schaltgliedes 309, das bei positivem Steuersignal den Wert +1 und sonst den Wert -1 durchschaltet. Das Ausgangssignal des Summierers 305 ist Steuersignal des Schaltgliedes 311, das bei positivem Steuersignal den Wert +1 und sonst den Wert -1 durchschaltet. Das Ausgangssignal des Schaltgliedes 311 stellt das Ausgangssignal kg der Einrichtung KE dar. Im Totzeitglied 313 wird das Signal kg um einen Zeitschritt Δt verzögert. Das Ausgangssignal des Totzeitgliedes 313 steuert das Schaltglied 315. Bei positivem Steuersignal wird der Wert 1,5, ansonsten der Wert 1,0 als Faktor h_y durchgeschaltet.

Der Mindestabstand r_{mind} kann durch die in Fig. 15 dargestellte Einrichtung S bestimmt werden. Im Summierer 317 wird das Eingangssignal v_F vom Eingangssignal ϕ_K subtrahiert. Das Kennlinienglied 319 bildet das Ausgangssignal des Summierers 317 entsprechend der im Kennlinienglied skizzierten Kennlinie auf den Wertebereich 0 bis +1 ab. Das Eingangssignal v_F wird im Proportionalglied 321 mit dem frei vorgebbaren Faktor m multipliziert. Die Ausgangssignale des Proportionalgliedes 321 und des Kennliniengliedes 319 werden im Multiplizierer 323 miteinander multipliziert. Der Summierer 327 addiert zum Ausgangssignal des Multiplizierers 323 den Wert r_0 , der im Übertragungsglied 325 abhängig von Parametern p_1, p_2, \dots bis p_m festgelegt wird. Über die Parameter p_1, p_2 bis p_m gehen die Fahrzeugabmessungen und die Genauigkeit der Sensoren in die Bestimmung von r_{mind} ein. Das Ausgangssignal des Summierers 327 stellt das Ausgangssignal r_{mind} der Einrichtung S dar.

6.2 Verfahren und Einrichtung $KV1$ zur Kollisionsvermeidung durch Brems- oder Beschleunigungsmanöver

Ziel der Strategie der Kollisionsvermeidung durch Brems- oder Beschleunigungsmanöver ist es, eine Beschleunigung (bzw. Verzögerung) a_{KV1} zu finden, die sicherstellt, daß das Fahrzeug das Hindernis in einem Mindestabstand r_{mind} passiert.

In Abschnitt 6.1.2 ist ein Verfahren und eine Einrichtung KP zur Kollisionsparameterbestimmung erläutert worden, die in Abhängigkeit von den Größen $r_H, x_H, y_H, v_H, v_{Hx}, v_{Hy}, a_H$ für das Hindernis und $r_F, x_F, y_F, v_{Fx}, v_{Fy}, a_F$ für das Fahrzeug den Kollisionsabstand r_K bestimmen. Wenn man sämtliche Eingangsgrößen mit Ausnahme der Fahrzeugbeschleunigung als Konstanten und die Fahrzeugbeschleunigung als Variable a auffaßt, so kann man den Kollisionsabstand als eine Funktion $r(a)$ der Variablen a interpretieren, deren Funktionswerte mit dem oben erläuterten Verfahren bestimmt werden. Insbesondere gilt

$$r(a_F) = r_K.$$

Ziel der Kollisionsvermeidung durch Brems- oder Beschleunigungsmanöver ist es, eine Beschleunigung $a = a_{KV1}$ zu finden, für die sich ein Kollisionsabstand

$$r(a_{KV1}) = r_{mind}$$

ergibt, d. h. das Fahrzeug so zu bremsen oder zu beschleunigen, daß das Hindernis in einem Mindestabstand r_{mind} passiert wird.

Erfindungsgemäß wird a_{KV1} näherungsweise von der Kollisionsvermeidungsvorrichtung wie folgt bestimmt:

$$a_{KV1} = a_{KV1,alt} + \frac{\Delta a (r_{mind} - r(a_{KV1,alt}))}{r(a_{KV1,alt} + \Delta a) - r(a_{KV1,alt})}$$

Hierbei ist $a_{KV1,alt}$ der Wert des Signals a_{KV1} im letzten Zeitschritt. Im ersten Schritt wird $a_{KV1,alt}$ zu a_F gewählt. Δa ist ein vorgebbarer Parameter.

Die Kollisionsvermeidungseinrichtung $KV1$ muß in jedem Zeitschritt für die Bestimmung von a_{KV1} zweimal entsprechend dem in 6.1.2 beschriebenen Verfahren einen Kollisionsabstand berechnen. Aus den so erhaltenen Werten für die Kollisionsabstände $r(a_{KV1,alt} + \Delta a)$ und $r(a_{KV1,alt})$ ergibt sich nach der obigen Rechenvorschrift die neue Sollbeschleunigung a_{KV1} .

Für die Änderung der Beschleunigung a_{KV1} pro Zeitschritt wird eine betragsmäßige Obergrenze $\Delta a_{KV1,max}$ eingeführt.

$$|a_{KV1} - a_{KV1,alt}| < \Delta a_{KV1,max}$$

Die vom Fahrzeug realisierbare Beschleunigung bzw. Verzögerung ist aufgrund der maximalen Motorleistung und der begrenzten Verzögerung bei einem Bremsmanöver (Haftreibung Reifen-Straße) auf ein Intervall $[a_v, a_b]$ beschränkt.

Wenn das Signal Wert a_{KV1} außerhalb des Intervalls $[a_v, a_b]$ liegt, kann das Fahrzeug das Hindernis durch ein Brems- oder Beschleunigungsmanöver nicht passieren.

Bei einem Fahrmanöver mit a_{KV1} aus dem Intervall $[a_v, a_b]$ ist gesichert, daß der geforderte Mindestabstand r_{mind} zum Hindernis nicht unterschritten wird.

Wie in Fig. 16 anschaulich dargestellt ist, können aber Fälle auftreten, bei denen das Fahrzeug das Hindernis nicht passiert. In Fig. 16 ist eine Situation gegeben, in der sich das Fahrzeug mit hoher Geschwindigkeit von hinten einem Hindernis nähert, welches sich mit geringer Geschwindigkeit und dem gleichen Kurswinkel auf der Fahrbahn des Fahrzeuges bewegt. Das Fahrzeug würde ohne einen Eingriff der Kollisionsvermeidungseinrichtung nach Ablauf der Kollisionszeit t_K auf das Hindernis auffahren. Durch ein leichtes Bremsmanöver könnte eine Kollision nicht verhindert werden, da sich nur die Kollisionszeit vergrößert. Erst wenn die Verzögerung a_{KV1} so groß wird, daß das Fahrzeug hinter dem Hindernis auf die Hindernisgeschwindigkeit abgebremst wird, findet keine Kollision statt. In diesem Falle wird das Hindernis aber auch nicht passiert. Nach dem Zeitpunkt der engsten Annäherung im Abstand r_{mind} bestünde keine Kollisionsgefahr mehr und das Fahrzeug würde erneut beschleunigt. Nach kurzer Zeit würde die Kollisionsvermeidungseinrichtung aber wieder eine Kollisionsgefahr erkennen, so daß es zu einem ständigen Hin- und Herschalten der Größe kg käme.

Um diesen Sonderfall zu erkennen, berechnet die Kollisionsvermeidungseinrichtung die Fahrzeuggeschwindigkeit \hat{v}_F und die Hindernisgeschwindigkeit \hat{v}_H sowie die Kurswinkel \hat{v}_F und \hat{v}_H des Fahrzeuges und des Hindernisses zum Zeitpunkt der engsten Annäherung bei einer Beschleunigung a_{KV1} des Fahrzeuges.

$$\hat{v}_F = v_{KV} + a_{KV1} t_K$$

$$\hat{v}_H = v_H + a_H t_K$$

$$\hat{v}_F = v_F + \frac{v_{KV} t_K + 1/2 a_{KV1} t_K^2}{r_F}$$

$$\hat{v}_H = v_H + \frac{v_H t_K + 1/2 a_H t_K^2}{r_H}$$

Zum Zeitpunkt der engsten Annäherung bewegen sich Fahrzeug und Hindernis mit der Geschwindigkeit v_{rel} zueinander.

$$v_{rel} = \sqrt{(\hat{v}_F \cos \hat{v}_F - \hat{v}_H \cos \hat{v}_H)^2 + (\hat{v}_F \sin \hat{v}_F - \hat{v}_H \sin \hat{v}_H)^2}$$

Wenn v_{rel} gleich Null ist bzw. kleiner als ein Grenzwert ε_v , der durch die begrenzte Genauigkeit der Signalverarbeitung bedingt wird, liegt der oben dargestellte Sonderfall vor.

Das Hindernis kann nur durch ein seitliches Abweichen von der Sollbahn passiert werden. Wenn zu einem solchen Überholmanöver nicht genügend Platz zur Verfügung steht, muß das Fahrzeug dem Hindernis unter Einhaltung eines Mindestabstandes r_{mind} folgen.

Die in Fig. 17 dargestellte Vorrichtung KV1 bestimmt nach dem beschriebenen Verfahren entsprechend Anspruch 1 eine Beschleunigung a_{KV1} , die die Einhaltung des Mindestabstandes r_{mind} zwischen Fahrzeug und Hindernis sichert.

In die Vorrichtung KV1 sind zwei Blöcke vom Typ Block KP zur Bestimmung von Kollisionsparametern (Übertragungsglied 329 und 331) integriert, deren Aufbau in Fig. 13 dargestellt ist und in Abschnitt 6.1.2 bereits erläutert wurde. Das Übertragungsglied 331 unterscheidet sich dadurch von der in Abschnitt 6.1.2 beschriebenen Vorrichtung, daß der Ausgang ϕ_K nicht ausgeführt ist, d. h. das Übertragungsglied 271 (Block 1.7, Fig. 11) entfällt. Im Übertragungsglied 329 wird darüberhinaus der Ausgang des Summierers 293 (Fig. 13) nicht nach außen geführt.

Eingangssignale der beiden Übertragungsglieder 329 und 331 vom Typ der Einrichtung KP sind die Signale x_F , y_F , v_F , v_{KV} , r_F , x_H , y_H , v_H , v_H , a_H und r_H sowie beim Übertragungsglied 329 das Ausgangssignal $a_{KV1,alt} + \Delta a$ des Summierers 337 bzw. beim Übertragungsglied 331 das Ausgangssignal $a_{KV1,alt}$ des Schaltgliedes 335. Ausgangssignal des Übertragungsgliedes 329 ist die Größe $r(a_{KV1,alt} + \Delta a)$. Entsprechend ist die Größe $r(a_{KV1,alt})$ Ausgangssignal des Übertragungsgliedes 331, welches als zweites Ausgangssignal die Größe $t_K(a_{KV1,alt})$ auf den Eingang des Blocks 1.8 (Übertragungsglied 355) gibt. Das Ausgangssignal des Totzeitgliedes 353 liegt am positiven Eingang des Schaltgliedes 335. Am negativen Eingang des Schaltgliedes 335 liegt das Eingangssignal a_F der Einrichtung KV1. Als Steuersignal des Schaltgliedes 335 dient das Ausgangssignal kg_{alt} des Totzeitgliedes 333, welches das Signal kg um einen Zeitschritt Δt verzögert. Das Signal $a_{KV1,alt} + \Delta a$ wird im Summierer 337 durch Addition des Parameters Δa zum Ausgangssignal des Schaltgliedes 335 gebildet.

Als Steuersignal des Schaltgliedes 339 dient das Ausgangssignal kg_{alt} des Totzeitgliedes 333. Bei positivem kg_{alt} schaltet das Schaltglied 339 das Ausgangssignal $r(a_{KV1,alt})$ des Übertragungsgliedes 331 weiter. Ansonsten wird das Eingangssignal r_K der Einrichtung KV1 durchgeschaltet. Der Summierer 341 subtrahiert das Ausgangssignal des Schaltgliedes 339 vom Eingangssignal r_{mind} . Der Summierer 343 subtrahiert das Ausgangssignal des Schaltgliedes 339 vom Ausgangssignal $r(a_{KV1,alt} + \Delta a)$ des Übertragungsgliedes 329. Das Ausgangssignal des Summierers 341 wird im Dividierer 345 durch das Ausgangssignal des Summierers 343 dividiert. Der Multiplizierer 347 multipliziert das Ergebnis der Division mit dem Parameter Δa . Das Ausgangssignal des Multiplizierers 347 wird im Sättigungsglied 349 auf den Bereich zwischen $+\Delta a_{KV1,max}$ und $-\Delta a_{KV1,max}$ beschränkt und im Summierer 351 zur Ausgangsgröße des Totzeitgliedes 353 addiert. Das Ausgangssignal des Summierers 351 ist

Eingangssignal des Totzeitgliedes 353 und gleichzeitig Ausgangssignal a_{KV1} der Vorrichtung KV 1. Außerdem ist es neben dem Ausgangssignal $t_K(a_{KV1,alt})$ des Übertragungsgliedes 331 und den Signalen r_F , v_{KV} , v_F , r_H , v_H , a_H und v_H Eingangssignal des als Block 1.8 (Fig. 18) bezeichneten Übertragungsgliedes 355.

In Block 1.8 sind zwei Übertragungsglieder (357 und 359) vom Typ Block 1.5 (Fig. 9) enthalten. Der Ausgang Δs (Summierer 223 wird bei beiden Blöcken nicht nach außen geführt. Das Übertragungsglied 357 bestimmt aus den Eingangssignalen r_F , t_K , v_{KV} , a_{KV1} und v_F das Signal \hat{v}_F . Das Übertragungsglied 359 bestimmt aus den Eingangssignalen r_H , t_K , v_H , a_H und v_H das Signal \hat{v}_H . Das Sinusglied 369 ermittelt den Sinus von \hat{v}_F und das Cosinusglied 371 ermittelt den Cosinus von \hat{v}_F . Entsprechend bestimmen das Sinusglied 373 und das Cosinusglied 375 den Sinus bzw. den Cosinus von \hat{v}_H . Der Multiplizierer 361 multipliziert die Eingangssignale t und a . Auf das Ergebnis der Multiplikation wird im Summierer 365 das Eingangssignal v_{KV} addiert. Auf das Ausgangssignal des Multiplizierers 363, der die Eingangssignale t_K und a_H multipliziert, addiert der Summierer 367 das Eingangssignal v_H . Das Ausgangssignal des Summierers 365 wird im Multiplizierer 377 mit dem Ausgangssignal des Sinusgliedes 369 und im Multiplizierer 379 mit dem Ausgangssignal des Cosinusgliedes 371 multipliziert. Das Ausgangssignal des Summierers 367 wird im Multiplizierer 381 mit dem Ausgangssignal des Sinusgliedes 373 und im Multiplizierer 383 mit dem Ausgangssignal des Cosinusgliedes 375 multipliziert. Das Ausgangssignal des Summierers 385, der das Ausgangssignal des Multiplizierers 381 vom Ausgangssignal des Multiplizierers 377 subtrahiert, wird im Multiplizierer 389 quadriert. Das Ausgangssignal des Summierers 387, der das Ausgangssignal des Multiplizierers 383 vom Ausgangssignal des Multiplizierers 379 subtrahiert, wird im Multiplizierer 391 quadriert. Der Summierer 393 addiert die Ausgangssignale der Multiplizierer 389 und 391. Aus dem Ergebnis der Summation zieht das Wurzelglied 395 die Quadratwurzel v_{rel} , welche im Summierer 405 vom Parameter a_v subtrahiert wird. Das Ausgangssignal des Summierers 405 ist Steuersignal des Schaltgliedes 407, welches bei positivem Steuersignal den Wert +1 und sonst den Wert -1 durchschaltet. Das Ausgangssignal S_0 des Schaltgliedes 407 ist Ausgangssignal des Blocks 1.8 und der Einrichtung KV 1.

Das Ausgangssignal des Summierers 397, der das Eingangssignal a_{KV1} vom Parameter a_b subtrahiert, ist Steuersignal des Schaltgliedes 401. Bei positivem Steuersignal, d. h. wenn a_{KV1} kleiner als a_b ist, wird der Wert +1 durchgeschaltet. Andernfalls wird der Wert -1 durchgeschaltet. Der Summierer 399 subtrahiert den Parameter a_v von dem Eingangssignal a_{KV1} . Das Ausgangssignal des Summierers 399 liegt am Steuereingang des Schaltgliedes 403. Bei positivem Steuersignal, d. h. wenn a_{KV1} größer als a_v ist, schaltet das Schaltglied 403 das Ausgangssignal des Schaltgliedes 401 durch. Andernfalls wird der Wert -1 weitergegeben. Das Ausgangssignal des Schaltgliedes 403 ist Ausgangssignal S_1 des Blocks 1.8 und auch Ausgangssignal der Einrichtung KV 1.

6.3 Verfahren und Einrichtung KV 2 zur Kollisionsvermeidung durch seitliche Ausweichmanöver

Zur Erläuterung des Grundgedankens des Verfahrens zur Kollisionsvermeidung durch seitliche Ausweichmanöver nehme man an, es existiere ein fiktives Fahrzeug, daß sich mit der gleichen Geschwindigkeit, Beschleunigung und Kurswinkel bewege, wie das tatsächliche Fahrzeug. Das fiktive Fahrzeug sei in seiner Position aber gegenüber dem tatsächlichen Fahrzeug seitlich, d. h. quer zum Kurswinkel, um den Abstand r_q versetzt. r_q wird positiv gerechnet, wenn das fiktive Fahrzeug in Fahrtrichtung links vom tatsächlichen Fahrzeug liegt. Wenn das fiktive Fahrzeug rechts liegt, wird r_q negativ gerechnet. Der Bahnkrümmungsradius r_{Fq} des fiktiven Fahrzeuges ergibt sich zu

$$r_{Fq} = r_F - r_q$$

Dazu sei noch einmal darauf hingewiesen, daß vereinbarungsgemäß der Krümmungsradius in Linkskurven positiv und in Rechtskurven negativ gerechnet wird (s. Abschnitt 6.1.1). Die Position (x_{Fq}, y_{Fq}) des fiktiven Fahrzeuges lautet

$$\begin{aligned} x_{Fq} &= x_F - r_q \sin v_F \\ y_{Fq} &= y_F + r_q \cos v_F \end{aligned}$$

Mit dem in Abschnitt 6.1.2 erläuterten Verfahren kann der Kollisionsabstand r_{Kq} des fiktiven Fahrzeuges abhängig von der normalen Positionsverschiebung r_q als Funktion $r_{Kq}(r_q)$ bestimmt werden. Dazu werden die Größen x_F , y_F und r_F des tatsächlichen Fahrzeuges durch x_{Fq} , y_{Fq} und r_{Fq} ersetzt. Die Beschleunigung wird nicht variiert. Ziel der Kollisionsvermeidung durch seitliche Ausweichmanöver ist es nun, die normale Positionsverschiebung r_q so zu bestimmen, daß

$$r_{Kq}(r_q) = r_{mind}$$

gilt.

In der noch verbleibenden Zeit t_K bis zur engsten Annäherung wird die Sollposition des Fahrzeuges dann in einem stetigen Übergang in die um r_q quer verschobene Position des fiktiven Fahrzeuges überführt.

Erfindungsgemäß führt die Kollisionsvermeidungseinrichtung KV 2, der das beschriebene Verfahren zugrundeliegt, die folgenden Schritte aus. Zunächst wird der Kollisionsabstand r_{Kq} , der Kollisionswinkel ϕ_{Kq} und die Kollisionszeit t_{Kq} bei einer Positionsverschiebung $r_{q,alt}$ bestimmt. $r_{q,alt}$ ist der im letzten Zeitschritt bestimmte Wert für r_q . Im ersten Zeitschritt wird $r_{q,alt}$ gleich r_{mind} gesetzt.

Der Kollisionsabstand r_{Kq} wird im folgenden mit positivem Vorzeichen gerechnet, wenn das Hindernis zum Zeitpunkt der engsten Annäherung rechts vom Sollkurs liegt. Ansonsten geht r_{Kq} mit negativem Vorzeichen ein. r_{Kq} wird deshalb mit dem Faktor

$$\gamma_q = \text{sign} \left[\varphi_{Kq} - v_F - \left(v_F t_{Kq} + a_F \frac{t_{Kq}^2}{2} \right) / (r_f - r_{q,alt}) \right]$$

multipliziert. Über den letzten Term im Argument der Signum-Funktion wird die Kurswinkeländerung während der Kollisionszeit t_{Kq} berücksichtigt. Ebenso wie r_{Kq} geht auch der Kollisionsabstand r_K des Fahrzeuges in seiner ursprünglichen Sollposition mit einem Faktor

$$\gamma = \text{sign} \left[\varphi_K - v_F - \left(v_K t_K + a_F \frac{t_K^2}{2} \right) / r_f \right]$$

ein.

Nachdem die Kollisionsvermeidungseinrichtung KV2 die Größen γ und γ_q bestimmt hat, werden die Verschiebungen $r_{q,li}$ und $r_{q,re}$ für ein Ausweichmanöver nach links oder nach rechts ermittelt

$$r_{q,li} = \frac{r_{q,alt} (r_{mind} - \gamma r_K)}{\gamma_q r_{Kq} - \gamma r_K}$$

$$r_{q,re} = \frac{r_{q,alt} (-r_{mind} - \gamma r_K)}{\gamma_q r_{Kq} - \gamma r_K}$$

Die Positionsverschiebung r_q wird von der Kollisionsvermeidungseinrichtung KV2 entsprechend der Regel

$$r_q \begin{cases} r_{q,li} & \text{für } |r_{q,li} - g(t_K) r_{q,alt}| \leq |r_{q,re} - g(t_K) r_{q,alt}| \wedge r_{q,li} < r_{q,max} \\ r_{q,re} & \text{für } |r_{q,re} - g(t_K) r_{q,alt}| < |r_{q,li} - g(t_K) r_{q,alt}| \wedge r_{q,re} > r_{q,min} \end{cases}$$

festgelegt (s. Fig. 5). Die Werte $r_{q,max}$ und $r_{q,min}$ geben die maximal zulässigen normalen Abweichungen von der Sollbahn an (Fahrbahnbreite). $g(t_K)$ ist eine Übergangsfunktion, die in Abhängigkeit von t_K -Werte zwischen 0 und 1 annimmt.

Die Übergangsfunktion $g(t_K)$ dient dazu, die Sollposition des Fahrzeuges in einem stetigen Übergang bis zum Zeitpunkt der engsten Annäherung in die um r_q verschobene Lage zu überführen. $g(t_K)$ muß die folgenden Eigenschaften haben:

$$g(0) = 1$$

$$g(t_{krit}) = 0$$

$$\left. \frac{d}{dt_K} g(t_K) \right|_{t_K = t_{krit}} = 0$$

$$\left. \frac{d}{dt_K} g(t_K) \right|_{t_K = 0} = 0$$

Die Übergangsfunktion

$$g(t_K) = 2 \left(\frac{t_K}{t_{krit}} \right)^3 - 3 \left(\frac{t_K}{t_{krit}} \right)^2 + 1$$

erfüllt die obigen Forderungen.

Die Querverschiebung r_q wird so festgelegt, daß die Begrenzungen $r_{q,max}$ und $r_{q,min}$ für Ausweichmanöver nach links und nach rechts nicht verletzt werden und die verbleibende Querverschiebung $|r_{q,li} - g(t_K) r_{q,alt}|$ bzw. $|r_{q,re} - g(t_K) r_q|$ möglichst klein ist. Wenn sowohl $r_{q,li}$ als auch $r_{q,re}$ außerhalb des zulässigen Bereiches $[r_{q,min}, r_{q,max}]$ liegen, kann das Hindernis nicht durch ein seitliches Ausweichmanöver passiert werden.

Die Kollisionsvermeidungseinrichtung KV2 ermittelt die Sollposition x_{KV2}, y_{KV2} auf der Ausweichbahn wie folgt:

$$x_{KV2} = x_F - g(t_K) r_q \sin(v_F)$$

$$y_{KV2} = y_F + g(t_K) r_q \cos(v_F)$$

Die Kollisionsvermeidungseinrichtung KV2 berechnet außerdem einen neuen Kurswinkel für die Ausweichbahn. Das Fahrzeug erhält auf der Ausweichbahn einen zusätzlichen Geschwindigkeitsanteil v_q quer zum ursprünglichen Kurswinkel. Es gilt

$$g_v = \frac{d}{dt} t_K(t) \cdot \frac{d}{dt_K} g(t_K)$$

$$g_v = -\frac{6}{t_{krit}} \left(\frac{t_K^2}{t_{krit}^2} - \frac{t_K}{t_{krit}} \right)$$

$$v_q = g_v r_q$$

Der neue Kurswinkel ergibt sich zu

$$v_{KV2} = v_F + \arctan \frac{v_q}{v_{KValt}}$$

Die Kollisionsvermeidungseinrichtung KV2 greift nicht in die Sollgeschwindigkeit ein, d. h. der ursprüngliche Wert a_F der Sollbeschleunigung wird unverändert zur Aufintegration der Sollgeschwindigkeit weitergegeben.

Die in Fig. 20 dargestellte Kollisionsvermeidungseinrichtung KV2 beinhaltet die Blöcke 2.1 (Übertragungsglied 501), 2.2 (Übertragungsglied 503) und 2.3 (Übertragungsglied 505), die in den Fig. 21 bis 23 gesondert dargestellt sind.

Block 2.1 (Fig. 21) bestimmt aus den Eingangssignalen r_{mind} , r_q , ϕ_K , t_K , x_F , y_F , v_F , v_{KV} , a_F , r_F , x_H , y_H , a_H , v_H , v_H und r_H die Querverschiebungen $r_{q,li}$ und $r_{q,re}$ für Ausweichmanöver nach links oder rechts quer zum Kurswinkel. Das Sinusglied 529 und das Cosinusglied 531 ermitteln den Sinus bzw. den Cosinus des Kurswinkels v_F . Das Eingangssignal r_q wird im Totzeitglied 525 um einen Zeitschritt Δt verzögert. Das Ausgangssignal $r_{q,alt}$ des Totzeitgliedes 525 wird im Multiplizierer 533 mit dem Sinus des Kurswinkels v_F (Sinusglied 529) und im Multiplizierer 535 mit dem Cosinus des Kurswinkels v_F (Cosinusglied 531) multipliziert. Durch Subtraktion des Ausgangssignals des Multiplizierers 533 vom Eingangssignal x_F bestimmt der Summierer 537 die Position x_{Fq} . Die Position y_{Fq} wird vom Summierer 539 durch Addition der Eingangsgröße y_F und des Ausgangssignals des Multiplizierers 539 gebildet. Der Summierer 527 bestimmt den Krümmungsradius r_{Fq} durch Subtraktion des Ausgangssignals $r_{q,alt}$ des Totzeitgliedes 525 von der Eingangsgröße r_F . Die Signale x_{Fq} , y_{Fq} , v_F , v_{KV} , a_F , r_{Fq} , x_H , y_H , v_H , a_H und r_H sind die Eingangssignale der Einrichtung KP, die als Übertragungsglied 541 Bestandteil des Blocks 2.1 ist und die Größen r_{Kq} , ϕ_{Kq} und t_{Kq} ermittelt. Block 2.1 beinhaltet weiterhin zwei Übertragungsglieder (543 und 545) vom Typ Block 1.5, bei denen der Ausgang des Summierers 223 im Gegensatz zur Darstellung in Fig. 9 nicht nach außen geführt ist. Das Übertragungsglied 543 bestimmt aus den Eingangssignalen t_{Kq} , v_{KV} , a_F , v_F und r_{Fq} den Kurswinkel des Fahrzeugs nach Ablauf der Zeit t_{Kq} und bei einer Querverschiebung der Position um $r_{q,alt}$. Entsprechend bestimmt das Übertragungsglied 545 aus den Eingangssignalen t_K , r_{KV} , a_F , v_F und r_F den Kurswinkel des Fahrzeugs nach Ablauf der Zeit t_K auf der originalen Sollbahn. Das Ausgangssignal des Übertragungsgliedes 543 wird im Summierer 547 vom Ausgangssignal ϕ_{Kq} der Einrichtung KP subtrahiert. Das Signumglied 549 bestimmt aus dem Ausgangssignal des Summierers 547 den Vorzeichenfaktor γ_q . Entsprechend bestimmt das Signumglied 559 aus dem Ausgangssignal des Summierers 557, der das Ausgangssignal des Übertragungsgliedes 545 von der Eingangsgröße ϕ_K subtrahiert, den Vorzeichenfaktor γ . Der Summierer 553 subtrahiert die im Multiplizierer 561 mit dem Vorzeichenfaktor γ multiplizierte Größe r_K von der im Multiplizierer 551 mit dem Vorzeichenfaktor γ_q multiplizierten Größe r_{Kq} . Außerdem wird die mit γ multiplizierte Größe r_K im Summierer 563 vom Eingangssignal r_{mind} und im Summierer 565 vom negativen Eingangssignal $-r_{mind}$ subtrahiert. Das Signal $r_{q,alt}$ (Totzeitglied 525) wird im Multiplizierer 567 mit dem Ausgangssignal des Summierers 563 und im Multiplizierer 569 mit dem Ausgangssignal des Summierers 565 multipliziert. Der Dividierer 571 bildet das Ausgangssignal $r_{q,li}$ des Blocks 2.1, indem er das Ausgangssignal des Multiplizierers 567 durch das Ausgangssignal des Summierers 553 dividiert. Entsprechend dividiert der Dividierer 573 das Ausgangssignal des Multiplizierers 569 durch das Ausgangssignal des Summierers 553 und bestimmt so das Ausgangssignal $r_{q,re}$ des Blocks 2.1.

Block 2.2 (Übertragungsglied 503, Fig. 20) bestimmt abhängig von der Eingangsgröße t_K und dem Parameter t_{krit} den Wert g der Übertragungsfunktion und den Wert g_v zur Bestimmung der Quergeschwindigkeit v_q . Wie in Fig. 22 dargestellt, bestimmt der Dividierer 575 das Signal t_K/t_{krit} , das im Multiplizierer 577 quadriert wird und dessen Quadrat im Multiplizierer 579 noch einmal mit t_K/t_{krit} multipliziert wird. Der Summierer 585 bestimmt das Ausgangssignal g des Blocks 2.2, indem er das im Proportionalglied 583 mit dem Faktor 2 gewichtete Ausgangssignal des Multiplizierers 579 mit dem im Proportionalglied 581 mit dem Faktor -3 gewichteten Ausgangssignal des Multiplizierers 577 und der Konstanten 1 addiert. Der Summierer 587 subtrahiert das Ausgangssignal des Dividierers 575 vom Ausgangssignal des Multiplizierers 577. Das Ergebnis der Subtraktion wird im Proportionalglied 589 mit dem Faktor -6 gewichtet und im Multiplizierer 591 mit der Größe t_{krit} multipliziert. Das Ausgangssignal des Multiplizierers 591 ist die Ausgangsgröße g_v des Blocks 2.2.

Eingangsgrößen des in Fig. 23 dargestellten Blocks 2.3, der als Übertragungsglied 505 (Fig. 20) Bestandteil der Einrichtung KV2 ist, sind die Ausgangssignale $r_{q,li}$ und $r_{q,re}$ des Blocks 2.1 und das Ausgangssignal g des Blocks 2.2 sowie das rückgekoppelte Ausgangssignal r_q des Blocks 2.3. Das Totzeitglied 593 verzögert die rückgekoppelte Größe r_q um einen Zeitschritt Δt zur Größe $r_{q,alt}$, die im Multiplizierer 595 mit dem Eingangssignal g multipliziert wird und ausschließlich im Summierer 597 von der Eingangsgröße $r_{q,li}$ und im Summierer 599 von der Eingangsgröße $r_{q,re}$ subtrahiert wird. Das Absolutglied 601 bildet den Betrag des Ausgangssignals des Summierers 599 und gibt diesen auf den Summierer 605, der hiervon den im Absolutglied 603 gebildeten Betrag des Ausgangssignals des Summierers 597 subtrahiert und das Ergebnis der Subtraktion als Steuersignal auf das Schaltglied 615 gibt. Der Summierer 607 subtrahiert das Eingangssignal $r_{q,li}$ vom Parameter $r_{q,max}$. Der Summierer 609 subtrahiert den Parameter $r_{q,min}$ vom Eingangssignal $r_{q,re}$. Das Ausgangssignal des Summierers 609 ist Steuersignal der Schaltglieder 611 und 617. Wenn das Ausgangssignal des Summierers 609 positiv ist, d. h. wenn $r_{q,re}$ größer ist als $r_{q,min}$, schaltet das Schaltglied 611 die Eingangsgröße $r_{q,re}$ und das Schaltglied 617 den Wert 1

durch. Andernfalls schaltet das Schaltglied 611 die Eingangsgröße $r_{q,li}$ und das Schaltglied 617 den Wert -1 durch. Das Ausgangssignal des Summierers 607 ist Steuersignal der Schaltglieder 613 und 619. Wenn das Ausgangssignal des Summierers 607 positiv ist, d. h. $r_{q,li}$ kleiner ist als $r_{q,max}$, schaltet das Schaltglied 613 das Eingangssignal $r_{q,li}$ und das Schaltglied 619 den Wert 1 durch. Andernfalls schaltet das Schaltglied 613 das Eingangssignal $r_{q,re}$ und das Schaltglied 619 das Ausgangssignal des Schaltgliedes 617 durch. Die Größe r_q ist Ausgangssignal des Schaltgliedes 615, das bei positivem Steuersignal das Ausgangssignal des Schaltgliedes 611 und sonst das Ausgangssignal des Schaltgliedes 613 durchschaltet. Das Ausgangssignal S_2 des Schaltgliedes 619 ist positiv, wenn r_q innerhalb des Intervalls $[r_{q,min}, r_{q,max}]$ liegt.

Die Ausgangssignale r_q und S_2 des Blocks 2.3 (Übertragungsglied 505, Fig. 20) sind Ausgangssignale der Einrichtung KV2. Das Signal r_q wird im Multiplizierer 525 mit der Ausgangsgröße g des Blocks 2.2 und anschließend im Multiplizierer 513 mit dem im Sinusglied 509 bestimmten Sinus des Winkels v_F und im Multiplizierer 515 mit dem im Cosinusglied 511 bestimmten Cosinus des Winkels v_F multipliziert. Der Summierer 517 ermittelt die Ausgangsgröße x_{KV2} , indem er das Ausgangssignal des Multiplizierers 513 von der Eingangsgröße x_F subtrahiert. Der Summierer 519 addiert das Ausgangssignal des Multiplizierers 515 zur Eingangsgröße y_F und erhält so die Ausgangsgröße y_{KV2} . Das Arcustangensglied 521 bildet den Arcustangens der Größe v_q/v_{KV} , wobei v_q das im Multiplizierer 507 bestimmte Produkt der Ausgangsgröße r_q des Blocks 2.3 und der Ausgangsgröße g_v des Blocks 2.2 ist. Das Ausgangssignal v_{KV2} ergibt sich im Summierer 523 durch Addition der Ausgangsgröße des Arcustangensgliedes 521 und der Eingangsgröße v_F .

Nachdem das Fahrzeug das Hindernis mit einer normalen Positionsverschiebung r_q im Sicherheitsabstand r_{mind} passiert hat, führt eine Einrichtung R die Sollposition des Fahrzeuges in einem stetigen Übergang innerhalb der Zeit $t_{rück}$ auf die ursprüngliche Sollbahn zurück. Dazu wird zum Zeitpunkt der engsten Annäherung, d. h. wenn t_K negativ wird und kg von 1 auf -1 umschaltet, die augenblickliche Querverschiebung r_q gleich $r_{q,um}$ der Sollposition gespeichert. Während der Zeitspanne $t_{rück}$ nach dem Zeitpunkt der Umschaltung der Größe kg , der ohne Beschränkung der Allgemeinheit der folgenden Betrachtungen gleich Null gewählt wird, bestimmt die Rückföhrvorrichtung R die Sollposition x_R , y_R und den Sollkurswinkel v_R wie folgt:

$$\begin{aligned} x_R &= x_F - \hat{g}(t) r_{q,um} \sin(v_F) \\ y_R &= y_F + \hat{g}(t) r_{q,um} \cos(v_F) \end{aligned}$$

$$v_R = v_F + \arctan \frac{r_{q,um} \hat{g}_v}{v_{KV}}$$

mit

$$\hat{g}(t) = 2 \left(\frac{t}{t_{rück}} \right)^3 - 3 \left(\frac{t}{t_{rück}} \right)^2 + 1$$

$$\hat{g}_v = \frac{6}{t_{rück}} \left[\left(\frac{t}{t_{rück}} \right)^2 - \frac{t}{t_{rück}} \right]$$

Eingangssignale der Einrichtung R (Fig. 24) zur Rückführung der Fahrzeugsollposition auf die ursprüngliche Sollbahn sind die Ausgangsgröße r_q der Einrichtung KV2, die Ausgangsgröße kg der Einrichtung KE und die Signale v_F , v_{KV} , x_F und y_F . Das Eingangssignal kg wird im Totzeitglied 621 um die Zeitspanne $t_{rück}$ verzögert. Die Größe kg ist Steuersignal des Schaltgliedes 623, das bei positivem kg den Wert 0 und sonst den Wert 1 durchschaltet. Das Ausgangssignal des Totzeitgliedes 621 steuert das Schaltglied 625, das bei positivem Steuersignal das Ausgangssignal des Schaltgliedes 623 und sonst den Wert 0 durchschaltet. Das mit S_3 bezeichnete Ausgangssignal des Schaltgliedes 625 nimmt nach dem Umschalten der Größe kg von $+1$ auf -1 für eine Zeitspanne $t_{rück}$ den Wert 1 an und hat sonst den Wert Null. Mit der positiven Flanke des Ausgangssignals des Schaltgliedes 625 wird der Integrierer 629 auf den Wert 0 gesetzt und das Sample & Hold-Glied 627 tastet das Signal r_q ab und hält den augenblicklichen Wert $r_{q,um}$ bis zur nächsten positiven Flanke. Der Integrierer 629 integriert das Ausgangssignal des Schaltgliedes 625 auf. Der Summierer 631 subtrahiert das Ausgangssignal des Integrierers 629 vom Parameter $t_{rück}$. Das Übertragungsglied 633 vom Typ Block 2.2 bestimmt aus der Größe $t_{rück}$ und dem Ausgangssignal des Summierers 631 die Größen \hat{g} und \hat{g}_v . Das Ausgangssignal $r_{q,um}$ des Sample & Hold-Gliedes 627 wird im Multiplizierer 635 mit \hat{g} und anschließend im Multiplizierer 641 mit dem im Sinusglied 637 gebildeten Sinus des Eingangssignals v_F bzw. im Multiplizierer 643 mit dem im Cosinusglied 639 gebildeten Cosinus des Eingangssignals v_F multipliziert. Der Summierer 645 ermittelt die Ausgangsgröße x_R , indem er das Ausgangssignal des Multiplizierers 641 von der Eingangsgröße x_F subtrahiert. Der Summierer 647 addiert das Ausgangssignal des Multiplizierers 643 zur Eingangsgröße y_F und erhält so die Ausgangsgröße y_R . Das Arcustangensglied 651 bildet den Arcustangens der Größe \hat{v}_q/v_{KV} , wobei \hat{v}_q das im Multiplizierer 649 gebildete Produkt aus $r_{q,um}$ und \hat{g}_v ist. Das Ausgangssignal v_R ergibt sich im Summierer 653 durch Addition der Ausgangsgröße des Arcustangensgliedes 651 und der Eingangsgröße v_F .

6.4 Verfahren und Einrichtung KV3 zur Kollisionsvermeidung durch Folgen

Ziel des in Abschnitt 6.2 beschriebenen Verfahrens zur Kollisionsvermeidung durch Brems- oder Beschleunigungsmanöver ist es, ein Hindernis mit einem Mindestabstand r_{mind} kollisionsfrei zu passieren.

Wie in Fig. 16 anschaulich dargestellt und in Abschnitt 6.2 erläutert, können Sonderfälle auftreten, bei denen das Fahrzeug das Hindernis durch Brems- oder Beschleunigungsmanöver nicht passieren kann. In diesen Fällen muß das Fahrzeug das Hindernis durch ein Ausweichmanöver quer zur Kursrichtung passieren oder das Fahrzeug folgt dem Hindernis unter Einhaltung eines Mindestabstandes r_{mind} .

Um das Fahrzeug dem Hindernis unter Einhaltung eines Mindestabstandes r_{mind} folgen zu lassen, wird erfindungsgemäß folgendes Verfahren verwandt:

Mit der Abweichung

$$d = r_{mind} - \sqrt{(x_F - x_H)^2 + (y_F - y_H)^2}$$

des Abstandes vom Mindestabstand r_{mind} und der momentanen Relativgeschwindigkeit

$$\Delta v = v_{KV} - v_H \cos(\varphi_F - \varphi_H)$$

zwischen Fahrzeug und Hindernis in Kursrichtung des Fahrzeuges berechnet die Kollisionsvermeidungseinrichtung KV3 die Beschleunigung a_{KV3} zu

$$a_{KV3} = \begin{cases} -\frac{\Delta v^2}{2d} & \text{für } d > d_{um} \\ \frac{\Delta v^2}{2d} & \text{für } d < -d_{um} \\ -2\alpha\Delta v - \alpha^2 d & \text{sonst.} \end{cases}$$

Durch die Umschaltung für den Bereich $|d| < d_{um}$ werden betragsmäßig extrem hohe a_{KV3} für $d \approx 0$ vermieden.

Die Einrichtung KV3 (Fig. 20) bestimmt entsprechend dem beschriebenen Verfahren die Beschleunigung a_{KV3} . Eingangsgrößen der Einrichtung KV3 sind die Signale r_{mind} , x_F , y_F , x_H , y_H , v_F , v_H , v_{KV} und φ_H .

Der Summierer 709 addiert das im Multiplizierer 705 bestimmte Quadrat der Ausgangsgröße des Summierers 701 und das im Multiplizierer 707 bestimmte Quadrat der Ausgangsgröße des Summierers 703, wobei der Summierer 701 die Eingangsgröße x_H von der Eingangsgröße x_F subtrahiert und der Summierer 703 die Eingangsgröße y_H von der Eingangsgröße y_F subtrahiert. Der Summierer 713 bildet die Größe d durch Subtraktion der im Wurzelglied 711 gebildeten Quadratwurzel des Ausgangssignals des Summierers 709 von der Eingangsgröße r_{mind} . Der Summierer 721 bildet die Größe Δv durch Subtraktion des im Multiplizierer 719 bestimmten Produktes der Eingangsgröße v_H mit dem Ausgangssignal des Cosinugliedes 717 von der Eingangsgröße v_{KV} , wobei das Cosinuglied 717 den Cosinus des im Summierer 715 durch Subtraktion der Größe φ_H von der Größe φ_F ermittelten Differenzsignals bestimmt. Der Summierer 727 addiert die im Proportionalglied 723 mit dem Faktor $-\alpha^2$ multiplizierte Größe d zur im Proportionalglied 725 mit dem Faktor -2α multiplizierten Größe Δv , wobei α einen frei vorgebbaren Parameter darstellt. Der Dividierer 737 dividiert die im Multiplizierer 729 quadrierte und anschließend im Proportionalglied 731 mit dem Faktor $1/2$ multiplizierte Größe Δv durch das Ausgangssignal d des Summierers 713. Das Signal d wird im Summierer 733 zum Parameter $-d_{um}$ addiert und im Summierer 735 vom Parameter $-d_{um}$ subtrahiert. Das Ausgangssignal des Summierers 733 ist Steuersignal des Schaltgliedes 741, welches bei positivem Steuersignal die im Proportionalglied 739 mit -1 multiplizierte Ausgangsgröße des Dividierers 737 und ansonsten die Ausgangsgröße des Summierers 727 durchschaltet. Das Ausgangssignal des Summierers 735 ist Steuersignal des Schaltgliedes 743, welches bei positivem Steuersignal das Ausgangssignal des Dividierers 737 und ansonsten das Ausgangssignal des Schaltgliedes 741 als Ausgangsgröße a_{KV3} der Einrichtung KV3 durchschaltet.

6.5 Ausführungsbeispiel 1 für eine Anordnung zur automatischen Kollisionsvermeidung

Dem Ausführungsbeispiel 1 liegen der Aufbau und die Gesamtstruktur der Fahrzeugführung zugrunde, wie sie in Fig. 1 und 2 dargestellt und in Abschnitt 6.1 bereits erläutert wurden.

Die Anordnung (Fig. 26) setzt sich im wesentlichen aus den Einrichtungen B(823), KP(825), S(827), KE(829), KV1(831), KV2(833), KV3(835), R(837) und dem Ausgangsblock KV-AUS zusammen. Eingangssignale der Anordnung sind die aus der Ebene der Sollbahnvorgabe bzw. der Hinderniserkennung vorgegebenen Größen x_F , y_F , v_F , φ_F , x_H , y_H , v_H , φ_H , a_H und r_H . Die Eingangssignale werden von den Sample & Hold-Gliedern 801 bis 821 in Abständen Δt abgetastet und über einen Zeitschritt Δt konstant gehalten.

Der Block B(823) bestimmt aus der rückgekoppelten Ausgangsgröße v_{KV} und dem Eingangssignal v_F die Fahrzeugbeschleunigung a_F . Zusammen mit den Signalen x_F , y_F , v_F , v_{KV} , φ_F , x_H , y_H , v_H , φ_H , a_H und r_H ist a_F Eingangssignal der Vorrichtung KP(825) zur Bestimmung der Kollisionsparameter r_K , φ_K und t_K . Die Vorrichtung S(827) ermittelt aus den Größen φ_K , v_F und v_{KV} den Mindestabstand r_{mind} . Aus den Eingangsgrößen r_K , r_{mind} und t_K sowie dem Parameter t_{krit} legt die Einrichtung KE(829) zur Kollisionserkennung die Ausgangsgröße kg fest, die bei Kollisionsgefahr den Wert 1 und sonst den Wert -1 hat.

Die Kollisionsvermeidungseinrichtung KV1(831) bestimmt aus den Eingangsgrößen r_{mind} , kg , r_K , x_F , y_F , v_F ,

$v_{KV}, a_F, r_F, x_H, y_H, v_H, a_H$ und r_H sowie den Parametern a_b, a_v, ϵ_v und Δa die Beschleunigung a_{KV1} und die Schaltsignale S_0 und S_1 .

Die Kollisionsvermeidungseinrichtung $KV2$ (833) ermittelt aus den Eingangsgrößen $r_{mind}, x_F, y_F, v_F, v_{KV}, a_F, r_F, x_H, y_H, v_H, a_H, r_H$ und den Parametern $t_{krit}, r_{q,min}$ und $r_{q,max}$ die Querpositionsverschiebung r_q , das Schaltsignal S_2 , die Position x_{KV2}, y_{KV2} und den Kurswinkel v_{KV2} . Die Kollisionsvermeidungseinrichtung $KV3$ (835) bestimmt aus den Eingangsgrößen $r_{mind}, x_F, y_F, x_H, y_H, v_F, v_H, v_{KV}$ und v_H die Beschleunigung a_{KV3} . Die Einrichtung R (837) ermittelt aus den Größen r_q, S, v_F, v_{KV}, x_F und y_F das Schaltsignal S_3 , die Position x_R, y_R und den Kurswinkel v_R , wobei das Eingangssignal S der Einrichtung $KV3$ Ausgangssignal der Einrichtung $KV-AUS$ ist und das Eingangssignal kg in Fig. 24 ersetzt. Sämtliche Ausgangsgrößen der Einrichtungen KE (829), $KV1$ (831), $KV2$ (833), $KV3$ (835) und R (837) und zusätzlich die Signale x_F, y_F, v_F und a_F sind Eingangsgrößen der Einrichtung $KV-AUS$, die die Ausgangsgrößen $S, x_{KV}, y_{KV}, v_{KV}$ und a_{KV} bestimmt. Das Schaltsignal S wird auf den Eingang der Einrichtung R zurückgeführt. Die Ausgangsgröße v_{KV} der Anordnung wird durch Aufintegration (Integrierer 841) und anschließendes Abtasten in Zeitschritten Δt und Halten über einen Zeitschritt Δt (Sample & Hold-Glied 843) aus der Größe a_{KV} gebildet. Die Signale x_{KV}, y_{KV}, v_{KV} und v_{KV} werden als Ausgangssignale der Kollisionsvermeidungsanordnung an die Ebene der Regelung weitergegeben.

Der Aufbau der Einrichtung $KV-AUS$ ist in Fig. 27 dargestellt. Das Eingangssignal S_1 der Einrichtung $KV-AUS$ ist Steuersignal der Schaltglieder 845 und 847, wobei Schaltglied 845 bei positivem S_1 das Eingangssignal S_0 und Schaltglied 847 das Ausgangssignal des Schaltgliedes 845 durchschaltet. Bei negativem S_1 schaltet Schaltglied 845 den Wert -1 und Schaltglied 847 den Wert $+1$ durch. Das Ausgangssignal des Schaltgliedes 847 nimmt den Wert 1 an, wenn S_1 negativ ist oder S_1 positiv und S_0 positiv ist. Das Signal S_2 ist Steuersignal des Schaltgliedes 849, welches bei positivem Steuersignal das Ausgangssignal des Schaltgliedes 847 und sonst den Wert -1 durchschaltet. Das Signal kg ist Steuersignal des Schaltgliedes 851, welches bei positivem Steuersignal das Ausgangssignal des Schaltgliedes 849 und sonst den Wert -1 durchschaltet. Das Ausgangssignal des Schaltgliedes 851 ist Ausgangssignal S der Vorrichtung $KV-AUS$. Bei positivem S wird die Kollision durch ein Ausweichmanöver quer zur Kursrichtung vermieden ($KV2$). Bei negativem S wird im Falle von Kollisionsgefahr ein Brems- oder Beschleunigungsmanöver durchgeführt ($KV1, KV3$). S ist Steuersignal der Schaltglieder 859, 861, 863 und 853. Bei positivem S schaltet Schaltglied 859 das Signal x_{KV2} , Schaltglied 861 das Signal y_{KV2} , Schaltglied 863 das Signal v_{KV2} und Schaltglied 853 den Wert -1 durch. Bei negativem S schaltet Schaltglied 859 das Signal x_F , Schaltglied 861 das Signal y_F , Schaltglied 863 das Signal v_F und Schaltglied 853 das Signal kg durch. Das Signal S_0 ist Steuersignal der Schaltglieder 855 und 857, wobei das Schaltglied 855 bei positivem S_0 den Wert -1 und sonst das Ausgangssignal des Schaltgliedes 853 durchschaltet und Schaltglied 857 bei positivem S_0 das Ausgangssignal des Schaltgliedes 853 und sonst den Wert -1 durchschaltet. Das Ausgangssignal des Schaltgliedes 855 steuert Schaltglied 865, welches bei positivem Steuersignal das Signal a_{KV1} und sonst das Signal a_F durchschaltet. Das Ausgangssignal des Schaltgliedes 857 steuert das Schaltglied 867, welches bei positivem Steuersignal das Signal a_{KV3} und sonst das Ausgangssignal des Schaltgliedes 865 durchschaltet. Das Eingangssignal S_3 ist Steuersignal der Schaltglieder 869, 871 und 873, wobei bei positivem S_3 vom Schaltglied 869 das Signal x_R , vom Schaltglied 871 das Signal y_R und vom Schaltglied 873 das Signal v_R und bei negativem S_3 vom Schaltglied 869 das Ausgangssignal des Schaltgliedes 859, vom Schaltglied 871 das Ausgangssignal des Schaltgliedes 861 und vom Schaltglied 873 das Ausgangssignal des Schaltgliedes 863 durchgeschaltet werden.

Die Beschaltung der Schaltglieder 845, 847 und 849 ist so gewählt, daß ein Ausweichmanöver quer zur Kursrichtung nur dann durchgeführt wird, wenn S_2 positiv ist (d. h. es steht ein genügend großes Intervall $[r_{q,min}, r_{q,max}]$ für seitliche Ausweichmanöver zur Verfügung) und wenn eine Kollision durch Brems- oder Beschleunigungsmanöver nicht vermieden werden kann (S_1 negativ) oder das Hindernis hierbei nicht passiert wird (S_1 positiv und S_0 positiv). Ansonsten wird eine Kollision durch Brems- oder Beschleunigungsmanöver vermieden.

Durch Abänderung der Einrichtung $KV-AUS$ dergestalt, daß die Schaltglieder 845, 847 und 849 ersatzlos wegfallen und die Eingangsgröße S_2 direkt auf den "+" Eingang des Schaltgliedes 851 geschaltet ist, wird eine Kollision bei positivem S_2 immer durch ein seitliches Ausweichmanöver vermieden.

6.6 Vereinfachtes Verfahren und Einrichtung zur Kollisionsvermeidung

Mit Hilfe des in Abschnitt 6.1.2 beschriebenen Verfahrens, das der Einrichtung KP (Fig. 13) zugrunde liegt, werden die noch verbleibende Zeit t_K bis zur engsten Annäherung zwischen Fahrzeug und Hindernis sowie der Abstand r_K und der Winkel φ_K der engsten Annäherung bestimmt. Anhand der Größen r_K und t_K legt die Einrichtung KE zur Kollisionserkennung unter Berücksichtigung des Mindestabstandes r_{mind} und der Zeitkonstanten t_{krit} die Größe kg fest, die angibt, ob Kollisionsgefahr besteht.

Dem vereinfachten Verfahren zur Kollisionsvermeidung liegt die Idee zugrunde, die Einhaltung des Mindestabstandes r_{mind} zum Zeitpunkt der engsten Annäherung dadurch zu sichern, daß die Sollposition des Fahrzeugs innerhalb der noch verbleibenden Zeit t_K gegenüber der ursprünglichen Sollposition um die Länge

$$\Delta r = r_{mind} - r_K$$

in Richtung des Winkels φ_K verschoben wird. Durch die Positionsverschiebung unter dem Winkel φ_K wird die Lage in genau der Richtung geändert, die die größte Verbesserung des Abstandes der engsten Annäherung erwarten läßt. Im Gegensatz zu der Positionsverschiebung quer zur Sollbahn, wie sie in Abschnitt 6.3 beschrieben wird, ist bei einer Positionsverschiebung unter dem Winkel φ_K auch ein Anteil längs zur Kursrichtung enthalten. Die Verschiebung um Δr geschieht in einem stetigen Übergang mittels einer Gewichtungsfunktion $g(t_K)$.

$$g(t_K) = 2 \left(\frac{t_K}{t_{krit}} \right)^3 - \left(\frac{t_K}{t_{krit}} \right)^2 + 1$$

5 Für die neue Sollposition ergibt sich

$$\begin{aligned} x_{KV4} &= x_F + g(t_K) \Delta r \cos \varphi_K \\ y_{KV4} &= y_F + g(t_K) \Delta r \sin \varphi_K \end{aligned}$$

10 Der neue Kurswinkel ergibt sich mit

$$g_V = -\frac{6}{t_{krit}} \left(\frac{t_K^2}{t_{krit}^2} - \frac{t_K}{t_{krit}} \right)$$

15 als

$$20 \quad v_{KV4} = \arctan \frac{v_{KV} \sin v_F + \Delta r g_V \sin \varphi_K}{v_{KV} \cos v_F + \Delta r g_V \cos \varphi_K}$$

Die Einrichtung KV4 zur Kollisionsvermeidung nach dem beschriebenen Verfahren ist in Fig. 28 dargestellt. Der Summierer 901 bildet die Größe Δr , indem er das Eingangssignal r_K vom Eingangssignal r_{mind} subtrahiert. Die Größe Δr wird im Multiplizierer 903 mit dem Ausgangssignal g und im Multiplizierer 905 mit dem Ausgangssignal g_V des Übertragungsgliedes 902 vom Typ Block 2.2 multipliziert, wobei das Übertragungsglied 902 in der in Fig. 2.2 dargestellten und in Abschnitt 6.3 beschriebenen Weise aufgebaut ist und als Eingangsgrößen das Signal t_K und den Parameter t_{krit} besitzt. Die Ausgangsgröße r_{KV4} des Multiplizierers 903 wird im Multiplizierer 915 mit dem im Sinusglied 907 bestimmten Sinus der Eingangsgröße φ_K und im Multiplizierer 917 mit dem Cosinusglied 909 bestimmten Cosinus des Winkels φ_K multipliziert. Entsprechend wird die Ausgangsgröße v_{KV4} des Multiplizierers 905 im Multiplizierer 919 mit dem Sinus des Winkels φ_K und im Multiplizierer 921 mit dem Cosinus des Winkels φ_K multipliziert. Das Eingangssignal v_{KV} wird im Multiplizierer 923 mit dem im Sinusglied 911 gebildeten Sinus des Winkels v_F und im Multiplizierer 925 mit dem im Cosinusglied 913 gebildeten Cosinus des Winkels v_F multipliziert. Im Summierer 927 wird die Größe y_{KV4} durch Addition des Ausgangssignals des Multiplizierers 915 und des Eingangssignals y_F bestimmt. Entsprechend bestimmt der Summierer 929 die Größe x_{KV4} durch Addition des Ausgangssignals des Multiplizierers 917 und des Eingangssignals x_F . Das Arcustangensglied 935 ermittelt den Winkel v_{KV4} mit dem Ausgangssignal des Summierers 931 als Gegenkathete und dem Ausgangssignal des Summierers 933 als Ankathete, wobei der Summierer 931 das Ausgangssignal des Multiplizierers 923 zum Ausgangssignal des Multiplizierers 919 addiert und der Summierer 933 das Ausgangssignal des Multiplizierers 925 zum Ausgangssignal des Multiplizierers 921 addiert.

40 Nachdem das Fahrzeug das Hindernis mit einer um Δr unter dem Winkel φ_K verschobenen Position im Sicherheitsabstand r_{mind} passiert hat, führt eine Einrichtung R4 die Sollposition des Fahrzeuges in einem stetigen Übergang innerhalb der Zeit $t_{rück}$ auf die ursprüngliche Sollbahn zurück. Dazu wird zum Zeitpunkt der engsten Annäherung, d. h. wenn t_K negativ wird und kg von 1 auf -1 umschaltet, die augenblickliche Positionsverschiebung $g(t_K)\Delta r$ gleich $r_{KV4,um}$ der Sollposition und der augenblickliche Winkel φ_K gleich $\varphi_{K,um}$ gespeichert. Während der Zeitspanne $t_{rück}$ nach dem Zeitpunkt der Umschaltung der Größe kg , der ohne Beschränkung der Allgemeinheit der folgenden Betrachtungen als gleich Null betrachtet wird, bestimmt die Rückföhreinrichtung R4 die Sollposition x_{R4} , y_{R4} und den Sollkurswinkel v_{R4} wie folgt:

$$\begin{aligned} x_{R4} &= x_F + g(t)r_{KV4,um} \cos(\varphi_{K,um}) \\ y_{R4} &= y_F + g(t)r_{KV4,um} \sin(\varphi_{K,um}) \end{aligned}$$

$$v_{R4} = \arctan \frac{v_{KV} \sin v_F - r_{KV4,um} \sin \varphi_{K,um}}{v_{KV} \cos v_F - r_{KV4,um} \cos \varphi_{K,um}}$$

55 mit

$$60 \quad \tilde{g}(t) = 2 \left(\frac{t}{t_{rück}} \right)^3 - 3 \left(\frac{t}{t_{rück}} \right)^2 + 1$$

$$\tilde{g}_V = \frac{6}{t_{rück}} \left[\left(\frac{t}{t_{rück}} \right)^2 - \frac{t}{t_{rück}} \right]$$

65 Eingangssignale der Einrichtung R4 (Fig. 29) zur Rückführung der Fahrzeugsollposition auf die ursprüngliche Sollbahn sind die Ausgangsgrößen r_{KV4} und φ_{KV4} der Einrichtung KV4, die Ausgangsgröße kg der Einrichtung KE und die Signale v_F , v_{KV} , x_F und y_F . Das Eingangssignal kg wird im Totzeitglied 937 um die Zeitspanne $t_{rück}$

verzögert. Die Größe kg ist Steuersignal des Schaltgliedes 939, das bei positivem kg den Wert 0 und sonst den Wert 1 durchschaltet. Das Ausgangssignal des Totzeitgliedes 937 steuert das Schaltglied 941, das bei positivem Steuersignal das Ausgangssignal des Schaltgliedes 939 und sonst den Wert 0 durchschaltet. Das mit S_4 bezeichnete Ausgangssignal des Schaltgliedes 941 nimmt nach dem Umschalten der Größe kg von +1 auf -1 für eine Zeitspanne $t_{rück}$ den Wert 1 an und hat sonst den Wert Null. Mit der positiven Flanke des Ausgangssignals des Schaltgliedes 941 wird der Integrierer 943 auf den Wert 0 gesetzt und das Sample & Hold-Glied 949 tastet das Signal r_{KV4} ab und hält den augenblicklichen Wert $r_{KV4,um}$ bis zur nächsten Flanke. Entsprechend tastet das Sample & Hold-Glied 951 bei positiver Flanke des Signals S_4 die Eingangsgröße ϕ_K ab und hält den augenblicklichen Wert $\phi_{K,um}$ bis zur nächsten positiven Flanke. Der Integrierer 943 integriert das Ausgangssignal des Schaltgliedes 941 auf. Der Summierer 945 subtrahiert das Ausgangssignal des Integrierers 943 vom Parameter $t_{rück}$. Die Größe $r_{KV4,um}$ wird im Multiplizierer 959 mit dem Ausgangssignal \bar{g} und im Multiplizierer 961 mit dem Ausgangssignal \bar{g}_v des Übertragungsgliedes 947 vom Typ Block 2.2 multipliziert, wobei das Übertragungsglied 947 in der in Fig. 22 dargestellten und in Abschnitt 6.3 beschriebenen Weise aufgebaut ist und als Eingangsgrößen das Ausgangssignal des Summierers 945 und den Parameter $t_{rück}$ besitzt. Die Ausgangsgröße des Multiplizierers 959 wird im Multiplizierer 963 mit dem im Sinusglied 955 bestimmten Sinus der Größe $\phi_{K,um}$ und im Multiplizierer 965 mit dem im Cosinusglied 957 bestimmten Cosinus der Größe $\phi_{K,um}$ multipliziert. Entsprechend wird die Ausgangsgröße des Multiplizierers 961 im Multiplizierer 967 mit dem Sinus der Größe $\phi_{K,um}$ und im Multiplizierer 969 mit dem Cosinus der Größe $\phi_{K,um}$ multipliziert. Das Eingangssignal v_K wird im Multiplizierer 983 mit dem im Sinusglied 979 gebildeten Sinus des Winkels v_F und im Multiplizierer 985 mit dem im Cosinusglied 981 gebildeten Cosinus des Winkels v_F multipliziert. Im Summierer 971 wird die Größe y_{R4} durch Addition des Ausgangssignals des Multiplizierers 963 und des Eingangssignals y_F bestimmt. Entsprechend bestimmt der Summierer 973 die Größe x_{R4} durch Addition des Ausgangssignals des Multiplizierers 965 und des Eingangssignals x_F . Das Arcustangensglied 987 ermittelt den Winkel v_{R4} mit dem Ausgangssignal des Summierers 975 als Gegenkathete und dem Ausgangssignal des Summierers 977 als Ankathete, wobei der Summierer 975 das Ausgangssignal des Multiplizierers 967 vom Ausgangssignal des Multiplizierers 983 subtrahiert und der Summierer 977 das Ausgangssignal des Multiplizierers 969 vom Ausgangssignal des Multiplizierers 985 subtrahiert.

6.7 Ausführungsbeispiel 2 für eine Anordnung zur automatischen Kollisionsvermeidung

Dem Ausführungsbeispiel 2 liegen der Aufbau und die Gesamtstruktur der Fahrzeugführung zugrunde, wie sie in Fig. 1 und 2 dargestellt und in Abschnitt 6.1 bereits erläutert wurden.

Die Anordnung (Fig. 30) setzt sich im wesentlichen aus den Einrichtungen B (1021), KP (1023), S (1027), KE (1025), $KV4$ (1029), $R4$ (1031) und dem Ausgangsblock $KV4-AUS$ zusammen. Eingangssignale der Anordnung sind die aus der Ebene der Sollbahnvorgabe bzw. der Hinderniserkennung vorgegebenen Größen x_F , y_F , v_F , v_F , r_F , x_H , y_H , v_H , v_H , a_H und r_H . Die Eingangssignale werden von den Sample & Hold-Gliedern 1001 bis 1019 in Abständen Δt abgetastet und über einen Zeitschritt Δt konstant gehalten.

Der Block B (1021) bestimmt aus der rückgekoppelten Ausgangsgröße v_{KV} und dem Eingangssignal v_F die Fahrzeugbeschleunigung a_F . Zusammen mit den Signalen x_F , y_F , v_F , v_{KV} , r_F , x_H , y_H , v_H , v_H , a_H und r_H ist a_F Eingangssignal der Einrichtung KP (1023) zur Bestimmung der Kollisionsparameter r_K , ϕ_K und t_K . Die Einrichtung S (1027) ermittelt aus den Größen ϕ_K , v_F und r_{KV} den Mindestabstand r_{mind} . Aus den Eingangsstufen r_K , r_{mind} und t_K sowie dem Parameter t_{krit} legt die Einrichtung KE (1025) zur Kollisionserkennung die Ausgangsgröße kg fest, die bei Kollisionsgefahr den Wert 1 und sonst den Wert -1 hat.

Die Kollisionsvermeidungseinrichtung $KV4$ (1029) bestimmt aus den Eingangsgrößen r_K , v_K , t_K , r_{mind} , x_F , y_F , v_F , v_{KV} und a_F die Positionsverschiebung Δr , die Position x_{KV4} , y_{KV4} und den Kurswinkel v_{KV4} .

Die Einrichtung $R4$ (1031) ermittelt aus den Größen Δr , ϕ_K , kg , x_F , y_F , v_F , v_{KV} und a_F das Schaltsignal S_4 , die Position x_{R4} , y_{R4} und den Kurswinkel v_{R4} . Sämtliche Ausgangsgrößen der Einrichtungen KE (1025), $KV4$ (1029) und $R4$ (1031) und zusätzlich die Signale x_F , y_F und v_F sind Eingangsgrößen der Einrichtung $KV4-AUS$, die die Ausgangsgrößen x_{KV} , y_{KV} und v_{KV} bestimmt. Die Ausgangsgröße v_{KV} der Anordnung wird durch Aufintegration (Integrierer 1035) und anschließendes Abtasten in Zeitschritten Δt und Halten über einen Zeitschritt (Sample & Hold-Glied 1037) aus der Ausgangsgröße a_F der Einrichtung B gebildet. Die Signale x_{KV} , y_{KV} , v_{KV} und v_{KV} werden als Ausgangssignale der Kollisionsvermeidungsanordnung an die Ebene der Regelung weitergegeben.

Der Aufbau der Einrichtung $KV4-AUS$ (1033) ist in Fig. 31 dargestellt. Eingangsgrößen der Vorrichtung $KV4-AUS$ sind die Signale kg , y_{KV4} , x_{KV4} , v_{KV4} , S_4 , y_{R4} , x_{R4} und v_{R4} . Das Eingangssignal S_4 steuert die Schaltglieder 989, 991 und 993, wobei bei positivem S_4 Schaltglied 989 die Größe x_{R4} , Schaltglied 991 die Größe y_{R4} und Schaltglied 993 die Größe v_{R4} und bei negativem S_4 Schaltglied 989 die Größe x_F , Schaltglied 991 die Größe y_F und Schaltglied 993 die Größe v_F durchschaltet. Das Eingangssignal kg steuert die Schaltglieder 995, 997 und 999, wobei bei positivem kg Schaltglied 995 die Größe x_{KV4} , Schaltglied 997 die Größe y_{KV4} und Schaltglied 999 die Größe v_{KV4} durchschaltet. Bei negativem kg schaltet Schaltglied 995 das Ausgangssignal von Schaltglied 989, Schaltglied 997 das Ausgangssignal von Schaltglied 991 und Schaltglied 999 das Ausgangssignal von Schaltglied 993 durch.

Patentansprüche

1. Verfahren zur automatischen Kollisionsvermeidung für automatisch fuhrbare Fahrzeuge, gekennzeichnet durch ein hierarchisch strukturiertes Verfahren für Echtzeitbetrieb, bei dem aus den gegebenenfalls vom Fahrer vorgegebenen Sollsignalen bzw. -größen für den Soll-Kurswinkel und die Soll-Geschwindigkeit

- und aus den über eine sensorische Fahrbahn- und Fahrzeugfassung erfaßten Signalen und Daten in einer ersten Hierarchiestufe die aktuellen Sollsignalen und Solldaten beispielsweise über die Sollposition, den Sollkurswinkel, die Sollgeschwindigkeit, die Sollbeschleunigung und vorzugsweise den Krümmungsradius bezüglich der extrapolierten Sollbahn des Fahrzeuges erzeugt und diese Sollsignale und -daten und die durch am Fahrzeug angebrachten Sensoren ermittelten und/oder ganz oder teilweise durch eine externe Einrichtung mittels Datenübertragung zum Fahrzeug übermittelten und/oder ganz oder teilweise aus der zeitlichen Änderung der Fahrzeugsollposition und der Hindernisposition bestimmten aktuellen Daten über die Position, den Kurswinkel, die Geschwindigkeit, die Beschleunigung und vorzugsweise den Krümmungsradius der Bahn eines Hindernisses an eine erste Kollisionsvermeidung bewirkende zweite Hierarchiestufe weitergeleitet werden, in der anhand der vorgegebenen Signale bzw. Daten die Bahn des Hindernisses und die Sollbahn des Fahrzeuges vorausschauend extrapoliert und der Zeitpunkt und der Abstand der engsten Annäherung zwischen dem Fahrzeug und dem Hindernis sowie gegebenenfalls zusätzlich der Winkel der engsten Annäherung auf den extrapolierten Bahnen bestimmt und ermittelt werden, wobei anhand der noch verbleibenden Zeit bis zur engsten Annäherung und des Abstandes der engsten Annäherung eine eventuelle Kollisionsgefahr anhand von vorwählbaren Parametern feststellbar ist und in Abhängigkeit davon Kollisionsvermeidungs-Sollsignale und -daten für eine gegebenenfalls geänderte Kollisionsvermeidungs-Sollposition und einen gegebenenfalls geänderten Kollisionsvermeidungs-Sollkurswinkel oder die Kollisionsvermeidungs-Sollgeschwindigkeit und die -Sollbeschleunigung derart erzeugt werden, daß das Fahrzeug das Hindernis unter Einhaltung eines Mindestabstandes durch Einleitung eines Brems- oder Beschleunigungsmanövers, durch Überführung in eine seitlich von der eigentlichen Sollbahn abweichende kollisionsfreie Sollbahn passiert oder dem Hindernis unter Einhaltung eines Mindestabstandes folgt, wobei die ursprünglichen oder die im Fall einer Kollisionsgefahr veränderten Kollisionsvermeidungs-Sollbahnsignale bzw. -daten einer Einrichtung zur Fahrzeugregelung als dritte Hierarchiestufe zugeführt werden, über die die Stellglieder für die Lenkung und/oder den Antrieb und die Bremsanlage des Fahrzeuges betätigt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der noch verbleibenden Zeitspanne bis zur engsten Annäherung des Fahrzeuges und des Hindernisses eine Extrapolation des zukünftigen Verlaufes der Sollbahn des Fahrzeuges und der Hindernisbahn in einem vereinfachten Verfahren derart erfolgt, daß die Fahrzeugsollposition und die Hindernisposition aus ihrer augenblicklichen Lage ohne Berücksichtigung der Änderung des Kurswinkels auf geradenförmigen Bahnen bei konstanter Beschleunigung extrapoliert und daß die Zeitspanne bis zur engsten Annäherung als Zeitspanne bis zum Erreichen des nächstliegenden zukünftigen Minimums des Abstandes zwischen Fahrzeug und Hindernis auf den extrapolierten Bahnen bestimmt werden, wobei bei sich rechnerisch ergebenden mehreren zeitliche aufeinander folgenden minimalen Abständen das zeitlich nächstliegende Abstandsminimum den Abstand der engsten Annäherung und der Winkel dieses Abstandsminimums zu einem ortsfesten Bezugssystem als Winkel der engsten Annäherung zur entsprechenden Ermittlung und Beeinflussung der Soll- bzw. Kollisionsvermeidungs-Sollsignale bzw. -daten eingehen.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur näherungsweisen Bestimmung der noch verbleibenden Zeitspanne bis zur engsten Annäherung zwischen Fahrzeug und Hindernis zusätzlich die aktuellen Signale bzw. Daten der in der ersten Hierarchiestufe ermittelbaren Krümmungsradien der Fahrzeugsollbahn und die aktuellen Signale bzw. Daten der Hindernisbahn der zweiten Hierarchiestufe zur kreisbogenförmigen Extrapolation der Fahrzeugsollbahn und der Hindernisbahn zugeführt werden, wobei das für die geradenförmige Extrapolation der Fahrzeugsollbahn und der Hindernisbahn zugrundegelegte Verfahren zur Bestimmung des Zeitpunktes der engsten Annäherung bezüglich eines fiktiven Fahrzeuges und eines fiktiven Hindernisses auf geradenförmigen Tangentenbahnen an den kreisförmigen Extrapolationen der Fahrzeugsollbahn und der Hindernisbahn durchgeführt wird, wobei die Signale bzw. Daten für die Sollgeschwindigkeit des fiktiven Fahrzeuges und die Geschwindigkeit des fiktiven Hindernisses den Geschwindigkeiten des realen Fahrzeuges und des realen Hindernisses entsprechen und die Tangentenbahn so an die kreisförmigen Bahnextrapolationen angelegt werden, daß sich das fiktive Fahrzeug und das reale Fahrzeug bzw. das fiktive Hindernis und das reale Hindernis zu einem aus der Kollisions-Vorgeschichte bekannten Zeitpunkt der zu erwartenden engsten Annäherung zwischen Fahrzeug und Hindernis im jeweiligen Berührungspunkt der kreisförmigen Bahnextrapolation und der Tangentenbahn treffen, und die so ermittelte verbleibende Zeitspanne bis zur engsten Annäherung in die Ermittlung der gegebenenfalls veränderten Sollsignale bzw. -daten zur Ansteuerung der Fahrzeugregelung eingeht.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Verfahrensschritt die ermittelte Zeitspanne bis zur extrapolierten engsten Annäherung des Fahrzeuges und des Hindernisses mit einer vorgebbaren kritischen Zeitspanne und in einem weiteren Verfahrensschritt die extrapolierte engste Annäherung zwischen dem Fahrzeug und dem Hindernis mit einem Mindestabstand verglichen werden, und daß Kollisionsvermeidungs-Sollsignale bzw. -daten zur Änderung des an sich ermittelten Sollkurses des Fahrzeuges nur dann erzeugt werden, wenn die extrapolierte Zeitspanne kleiner ist als die vorgegebene kritische Zeitspanne und gleichzeitig der extrapolierte Abstand der engsten Annäherung kleiner ist als der vorgebbare Mindestabstand.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die vorgebbare Zeitspanne und der vorgebbare geringste kritische Mindestabstand im nachfolgenden Steuerungszyklen um einen bestimmten Wert vergrößert werden, wenn in der vorzugsweise unmittelbar zurückliegenden Steuerungsphase bereits eine Kollisionsgefahr feststellbar war.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß bei festgestellter Kollisionsgefahr eine gezielte Änderung der Sollbeschleunigung und der Sollgeschwindigkeit zur aus der ersten Hierarchiestufe gegebenen Beschleunigung des Fahrzeuges derart durchgeführt wird, daß das Fahrzeug

das Hindernis unter Einhaltung des Mindestabstandes passiert, wobei jeweils der extrapolierte zu erwartende Abstand zum Zeitpunkt der engsten Annäherung sowie die Änderung des extrapolierten zu erwartenden Abstandes der engsten Annäherung jeweils bei einer Änderung der in der Kollisions-Vorgeschichte ermittelten Sollbeschleunigung um einen frei vorgebbaren Betrag bei der Bestimmung der neuen geänderten Sollbeschleunigung so eingeht, daß ein größerer oder zumindest ein gleicher Abstand als der Mindestabstand bezüglich der engsten Annäherung erzielbar ist, wozu die Sollgeschwindigkeit durch Integration der Sollbeschleunigung bestimmt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei festgestellter Kollisionsgefahr Kollisionsvermeidungs-Sollsignale bzw. -daten für die Fahrzeugregelung mit einer gezielten Verschiebung der Fahrzeugsollposition quer zur Sollkursrichtung und eine entsprechende Änderung des Sollkurswinkels des Fahrzeuges zur Passierung des Hindernisses unter Einhaltung des Mindestabstandes erzeugt werden, wobei aus der Extrapolation des zu erwartenden Abstandes der engsten Annäherung aus der ursprünglichen aktuellen Sollposition des Fahrzeuges heraus und aus der Extrapolation des zu erwartenden Abstandes der engsten Annäherung aus einer in der Kollisions-Vorgeschichte bestimmten verschobenen Sollposition des Fahrzeuges heraus eine neue Verschiebung der Sollposition des Fahrzeuges ermittelt wird, aus der heraus ein Abstand mit einer engsten Annäherung zwischen Fahrzeug und Hindernis erzielbar ist, der größer oder gleich dem vorwählbaren Mindestabstand ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß nach Überführung der Sollposition des Fahrzeuges durch die ermittelten Kollisions-Vermeidungs-Sollsignale bzw. -daten in einem stetigen Übergang bis zum Zeitpunkt der engsten Annäherung aus der ursprünglichen in eine seitliche verschobene, eine Kollision vermeidende Lage ab dem Zeitpunkt der engsten Annäherung die Sollposition des Fahrzeuges in einem umgekehrten stetigen Übergang auf die ursprüngliche Fahrzeug-Sollbahn durch entsprechend ermittelte Sollsignale bzw. -daten zurückgeführt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Sollbeschleunigung und die Sollgeschwindigkeit des Fahrzeuges in einer Anordnung so verändert werden, daß das Fahrzeug dem Hindernis unter Einhaltung eines Mindestabstandes folgt, wobei die Sollbeschleunigung aus dem Abstand des Fahrzeuges zum Hindernis und aus der Relativgeschwindigkeit zwischen Fahrzeug und Hindernis bestimmt und die Sollgeschwindigkeit durch Integration der Sollbeschleunigung gebildet wird.

10. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß bei festgestellter Kollisionsgefahr und entsprechend erzeugten Kollisionsvermeidungs-Sollsignalen bzw. -daten vor Ansteuerung der Stellglieder der Fahrzeugregelung diese Kollisionsvermeidungs-Sollsignale bzw. -daten mit zulässigen, durch die physikalischen und technisch bedingten Grenzen des Fahrzeuges vorgegebenen Beschleunigungssignalen bzw. -daten verglichen und nur bei innerhalb dieses Zulässigkeitsbereiches liegenden Sollsignalen bzw. -daten zur Ansteuerung der Stellglieder der Fahrzeugregelung freigegeben werden.

11. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei festgestellter Kollisionsgefahr und entsprechend erzeugten Sollsignalen bzw. -daten zur Sollpositionsverschiebung quer zur Sollkursrichtung diese Sollsignale bzw. -daten mit Signalen und Daten zur Überprüfung eines Zulässigkeitsbereiches verglichen und nur bei innerhalb dieses Zulässigkeitsbereiches liegenden Werten an die Stellglieder der Fahrzeugregelung weitergegeben werden, wobei die Signale und Daten für den Zulässigkeitsbereich durch den seitlich links und rechts der Sollbahn zur Verfügung stehenden Raum festgelegt und beispielsweise in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite fest vorgebar sind.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 4 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß der bei der Ermittlung der Sollsignale zur Ansteuerung der Stellglieder der Fahrzeugregelung zugrundegelegte Mindestabstand bei der engsten Annäherung zwischen Fahrzeug und Hindernis, in Abhängigkeit anderer dynamischer Größen, wie beispielsweise der Fahrzeuggeschwindigkeit oder des Winkels der engsten Annäherung, als veränderbare Signalgröße gewichtet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Sollposition des Fahrzeuges in einem stetigen Übergang in eine um die Differenz zwischen dem Mindestabstand und dem Abstand der engsten Annäherung in Richtung des Winkels der engsten Annäherung verschobene Lage in einem stetigen Übergang überführt wird.

14. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung *KP* zur Bestimmung der Zeitspanne bis zur engsten Annäherung zwischen einem Fahrzeug und einem Hindernis sowie des Abstandes und des Winkels zum Zeitpunkt der engsten Annäherung mittels Extrapolation der Fahrzeugsollbahn und der Hindernisbahn ausgehend von den Eingangssignalen Sollposition, Sollkurswinkel, Sollgeschwindigkeit, Sollbeschleunigung und vorzugsweise Sollbahnkrümmungsradius des Fahrzeuges sowie den Signalen Position, Kurswinkel, Geschwindigkeit, Beschleunigung und vorzugsweise Bahnkrümmungsradius des Hindernisses oder davon hergeleiteter Signalgrößen bzw. -daten vorgesehen ist, wobei alle Signale zuvor in vorzugsweise äquidistanten Zeitschritten abtastbar und über zumindest einen Zeitschritt konstant haltbar sind, und daß eine Sensoreinrichtung zur Ermittlung der Sollbeschleunigung oder eine Einrichtung *B* zur Herleitung der Sollbeschleunigung aus der sensorisch erfaßbaren aktuellen Sollgeschwindigkeit und der in einem vorausgehenden, vorzugsweise letzten Zeitschritt der Vorrichtung verarbeiteten Sollgeschwindigkeit ermittelbar ist, und daß ferner eine Einrichtung *KE* zur Feststellung und zum Anzeigen der Kollisionsgefahr in Abhängigkeit der Zeitspanne bis zur engsten Annäherung und des Abstandes der engsten Annäherung vorgesehen ist, und daß zumindest eine Kollisionsvermeidungs-Einrichtung *KV1* und/oder *KV2* und/oder *KV3* zur Kollisionsvermeidung allein durch ein Beschleunigungs- oder Bremsverfahren, durch Erzeugung einer Kollisionsvermeidungs-Sollbahn abweichend von der ansonsten unveränderten Sollbahn unter Passieren des Hindernisses unter Einhaltung eines Mindestabstandes oder durch Folgen des Hindernisses unter Einhaltung eines Mindestab-

standes ohne seitliche Abweichung von der Sollbahn vorgesehen ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß ferner eine Einrichtung *R* zu einer stetigen Rückführung der Sollposition und des Sollkurswinkels auf die ursprüngliche Sollbahn nach Durchführung eines vorausgegangenen Kollisionsvermeidungsmanövers ab dem Zeitpunkt der engsten Annäherung vorgesehen ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung *KV1*, *KV2* und *KV3* und vorzugsweise die Einrichtung *R* parallel arbeiten und ihre Ausgänge mit der Einrichtung *KV-AUS* verbunden sind, welche bei angezeigter Kollisionsgefahr abhängig von der Zulässigkeit der seitlichen Positionsverschiebungen die ursprünglichen Sollgrößen für die Position und den Kurswinkel des Fahrzeuges durch die von der Einrichtung *KV2* bzw. *R* neu bestimmten Sollwerte ersetzt oder die ursprüngliche Sollbeschleunigung abhängig von deren Zulässigkeit durch die von der Einrichtung *KV1* oder von der Einrichtung *KV3* neu bestimmte Sollbeschleunigung ersetzt.

17. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung *KP* eine Einrichtung (1.1) umfaßt, mit der aus den Eingangssignalen x_F , y_F , v_F , v_{KV} , a_F , x_H , y_H , v_H , v_H und a_H die Koeffizienten c_2 , c_1 und c_0 der kubischen Gleichung

$$t_K^3 + c_2 t_K^2 + c_1 t_K + c_0 = 0$$

zur Ermittlung des Zeitpunktes t_K der engsten Annäherung so bildbar sind, daß gilt

$$c_2 = 3 \frac{a_x v_x + a_y v_y}{a_x^2 + a_y^2}$$

$$c_1 = 2 \frac{v_x^2 + x a_x + v_y^2 + y a_y}{a_x^2 + a_y^2}$$

$$c_0 = 2 \frac{x v_x + y v_y}{a_x^2 + a_y^2},$$

indem in der Einrichtung (1.2) die kubische Gleichung auf eine reduzierte kubische Gleichung transformierbar und in einer Einrichtung (1.3) die Nullstellen der reduzierten kubischen Gleichung bestimmbar und auf die ursprüngliche kubische Gleichung zurücktransformierbar sind, und daß in einer Einrichtung (1.4) aus den Nullstellen der kubischen Gleichung und der in der Einrichtung (1.1) gebildeten Zeitspanne bis zur engsten Annäherung im Falle einer unbeschleunigten Relativbewegung zwischen dem Fahrzeug und dem Hindernis die relative Zeitspanne bis zur engsten Annäherung bestimmbar ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß aus der ermittelten relevanten Zeitspanne bis zur engsten Annäherung eine nachgeordnete Einrichtung (1.5) zum einen für das Fahrzeug wie für das Hindernis die während der Zeitspanne bis zur engsten Annäherung zurückgelegte Strecke und der Kurswinkel zum Zeitpunkt der engsten Annäherung, in einer Einrichtung (1.6) für das Fahrzeug und das Hindernis die zum Zeitpunkt der engsten Annäherung zu erwartende Position, in einer Einrichtung (1.7) der Abstand zwischen Fahrzeug und Hindernis zum Zeitpunkt der engsten Annäherung und der Winkel des Abstandes bezogen auf ein festes Koordinatensystem ermittelbar ist.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der Einrichtung *KE* eine Kollisionsgefahr anzeigbar ist, wenn die Zeitspanne bis zur engsten Annäherung kleiner ist als das Produkt der frei vorgebbaren kritischen Zeitspanne mit einem Gewichtungsfaktor und wenn der Abstand der engsten Annäherung kleiner ist als das Produkt des Mindestabstandes mit dem Gewichtungsfaktor, wobei der Gewichtungsfaktor den Wert 1 hat, wenn im vorhergehenden Zeitschritt keine Kollisionsgefahr angezeigt wurde und einen Wert größer 1 hat, wenn im vorhergehenden Zeitschritt Kollisionsgefahr angezeigt wurde, und wobei der Mindestabstand als konstante Größe oder durch eine Einrichtung *S* als in Abhängigkeit von anderen Größen veränderbare Größe vorgebbbar ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung *KV1* zwei Einrichtungen *KP* umfaßt, von denen eine Einrichtung *KP* den zu erwartenden Abstand der engsten Annäherung bei der Sollbeschleunigung des Fahrzeuges, die im letzten Zeitschritt durch die Einrichtung *KV1* bestimmt wurde, ermittelt und die zweite Einrichtung *KP* den zu erwartenden Abstand der engsten Annäherung bei einer gegenüber der ersten Einrichtung *KP* um einen vorab frei vorgebbaren Betrag geänderten Sollbeschleunigung ermittelt und durch nachgeordnete Übertragungsglieder aus der Änderung des zu erwartenden Abstandes der engsten Annäherung bei der veränderten Sollbeschleunigung eine neue Sollbeschleunigung mit einem Abstand bei der engsten Annäherung größer oder gleich dem Mindestabstand bestimmbar ist, und daß eine Einrichtung (1.8) zur Anzeige, ob die Sollbeschleunigung des Fahrzeuges innerhalb eines frei vorgebbaren Zulässigkeitsbereiches liegt und ob das Fahrzeug mit der neuen Sollbeschleunigung im Zeitpunkt der engsten Annäherung eine zum Hindernis relative Geschwindigkeit größer als ein frei vorgebbarer Grenzwert hat und somit das Hindernis passiert, vorgesehen ist.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung *KV2* mit Einrichtungen (2.1, 2.2 und 2.3) vorgesehen ist, mit der Einrichtung (2.1) zur Ermittlung der Verschiebung der Sollposition des Fahrzeuges quer zur Kursrichtung bei einem Ausweichmanöver nach links und einem Ausweichmanöver nach rechts und der Einrichtung (2.2) zur Bestimmung der Gewichtungsfaktoren für einen stetigen Übergang der Fahrzeugsollposition von der ursprünglichen Lage in die verschobene Lage,

wobei die Ausgänge der Einrichtung (2.1) zur Ermittlung der Verschiebung der Sollposition des Fahrzeuges nach links oder nach rechts mit den Eingängen der Einrichtung (2.3) zur Auswahl der Verschiebungsrichtung der Sollposition und zur Anzeige, ob die neue Position innerhalb eines vorab frei vorgegebenen Zulässigkeitsbereiches liegt, verbunden sind, und daß diese Einrichtung (2.3) sowie die Einrichtung (2.2) mit den dort gebildeten Gewichtungsfaktoren Übertragungsglieder zur Überführung der Sollposition des Fahrzeuges in einem stetigen Übergang von der ursprünglichen Sollbahn in eine um die in der Einrichtung (2.3) festgelegte Strecke verschobene Lage und zur Bestimmung des Sollkurswinkels derart ansteuern, daß der Abstand der engsten Annäherung größer oder gleich dem Mindestabstand wird.

22. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß eine Einrichtung *KP* zur Bestimmung der Zeitspanne bis zur engsten Annäherung zwischen einem Fahrzeug und einem Hindernis sowie dem Abstand und dem Winkel zum Zeitpunkt der engsten Annäherung mittels Extrapolation der Fahrzeugsollbahn und der Hindernisbahn ausgehend von den Eingangssignalen Sollposition, Sollkurswinkel, Sollgeschwindigkeit, Sollbeschleunigung und vorzugsweise Sollbahnkrümmungsradius des Fahrzeuges sowie die Position, den Kurswinkel, die Geschwindigkeit, die Beschleunigung und vorzugsweise den Bahnkrümmungsradius des Hindernisses oder davon hergeleiteter Signalgrößen bzw. -daten vorgesehen ist, wobei alle Signale zuvor in vorzugsweise äquidistanten Zeitschritten abtastbar und über einen Zeitschritt konstant haltbar sind, und daß eine Sensoreinrichtung zur Ermittlung der Sollbeschleunigung oder eine Einrichtung *B* zur Herleitung der Sollbeschleunigung aus der sensorisch erfaßbaren aktuellen Sollgeschwindigkeit und der in einem vorausgehenden, vorzugsweise letzten Zeitschritt der Vorrichtung verarbeiteten Sollgeschwindigkeit ermittelbar ist, und daß ferner eine Einrichtung *KE* zur Feststellung und zum Anzeigen der Kollisionsgefahr in Abhängigkeit der Zeitspanne bis zur engsten Annäherung und des Abstandes der engsten Annäherung vorgesehen ist, und daß eine Annäherung *KV4*, *R4* und *KV4-AUS* vorgesehen ist, mit der Einrichtung *KV4* zur Überführung der Sollposition des Fahrzeuges in einem stetigen Übergang bis zum Zeitpunkt der engsten Annäherung in eine um die Differenz zwischen dem Mindestabstand und dem zu erwartenden Abstand der engsten Annäherung zwischen Fahrzeug und Hindernis in Richtung des Winkels der engsten Annäherung verschobene Lage und zur Bestimmung des Sollkurswinkels, und mit der Einrichtung *R4* zur Rückführung der Sollposition des Fahrzeuges in einem umgekehrten stetigen Übergang auf die ursprüngliche Sollbahn nach dem Zeitpunkt der engsten Annäherung und zur Neubestimmung des Sollkurswinkels, wobei mittels der Einrichtung *KV4-AUS* die ursprünglichen Werte für die Sollposition und den Sollkurswinkel des Fahrzeuges bei angezeigter Kollisionsgefahr durch die von der Einrichtung *KV4* neu bestimmten Werte für die Sollposition und den Sollkurswinkel und nach dem Zeitpunkt der engsten Annäherung durch die von der Einrichtung *R4* neu bestimmten Werte für die Sollposition und den Sollkurswinkel ersetzbar sind.

Hierzu 31 Seite(n) Zeichnungen

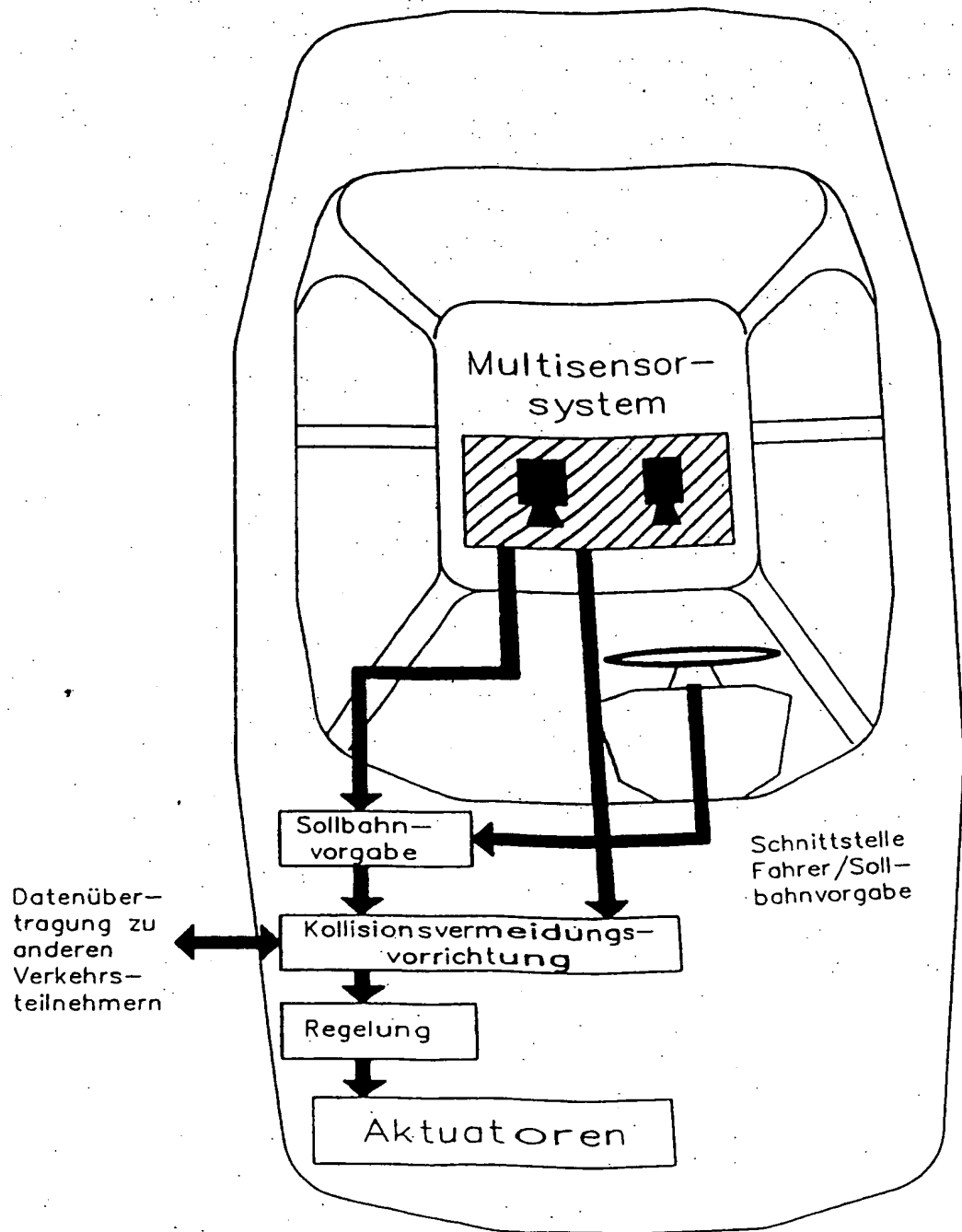


Fig. 1

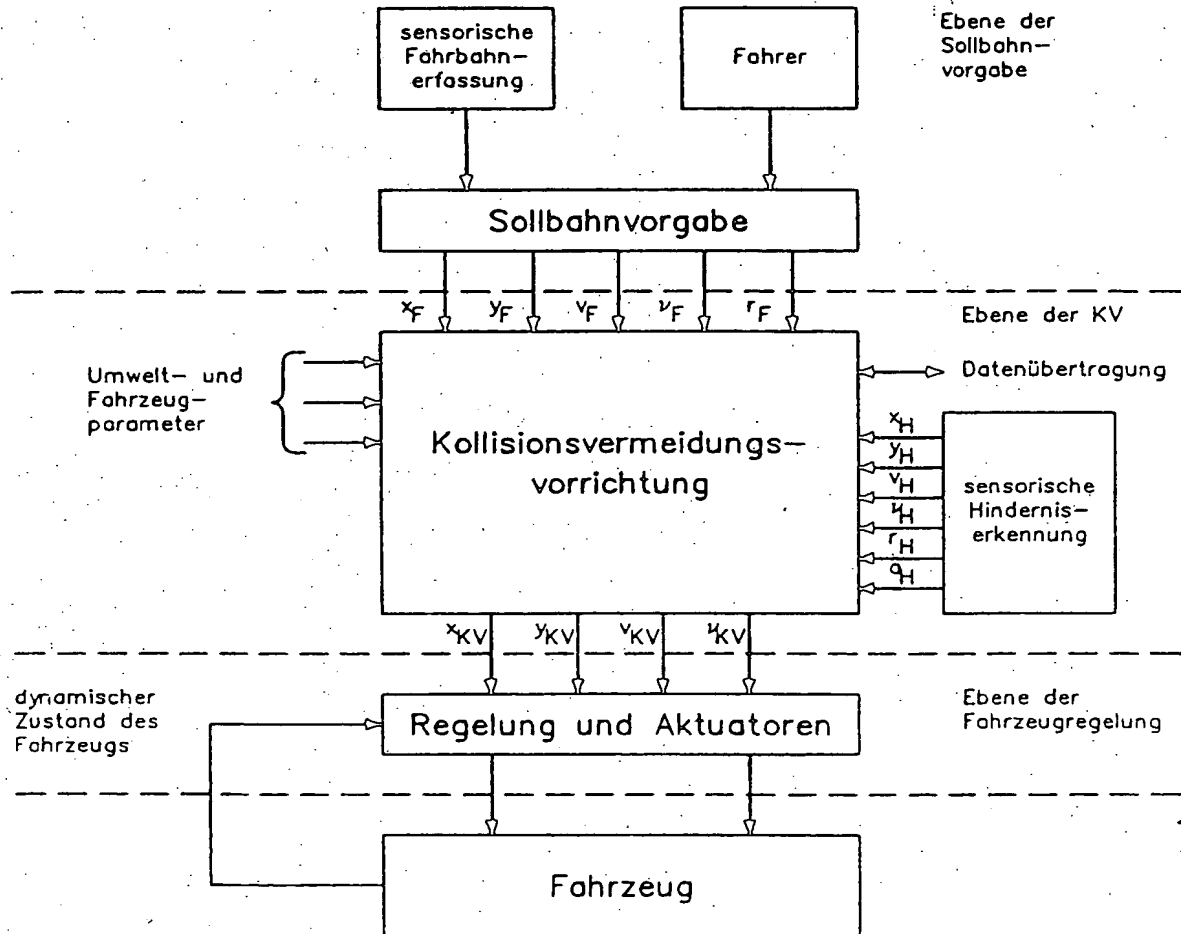


Fig. 2

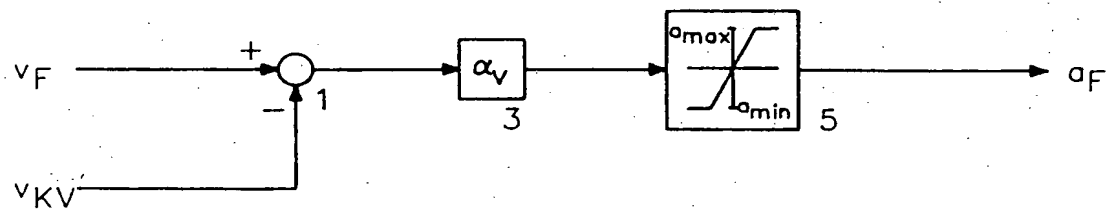


Fig. 3

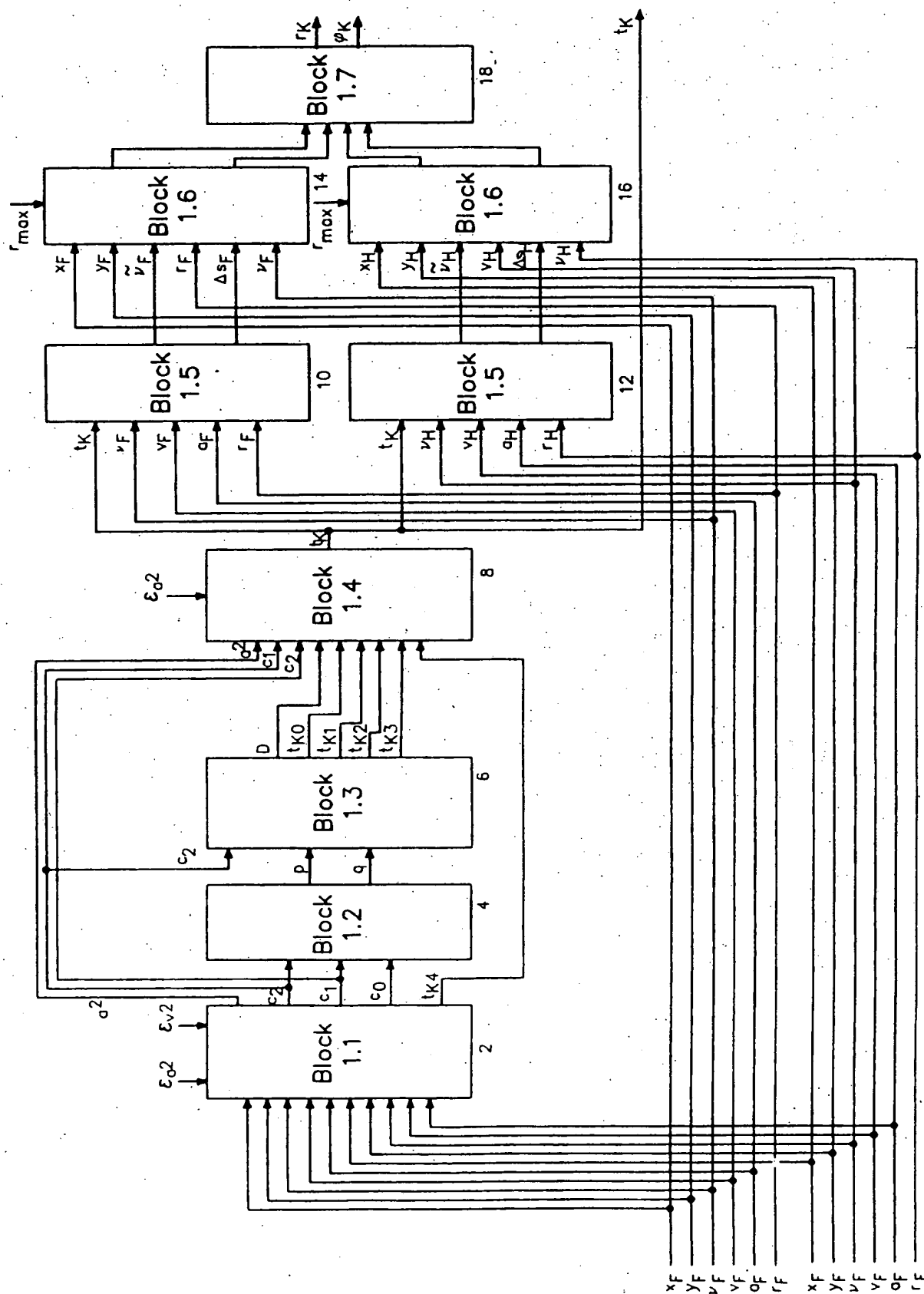


Fig. 4

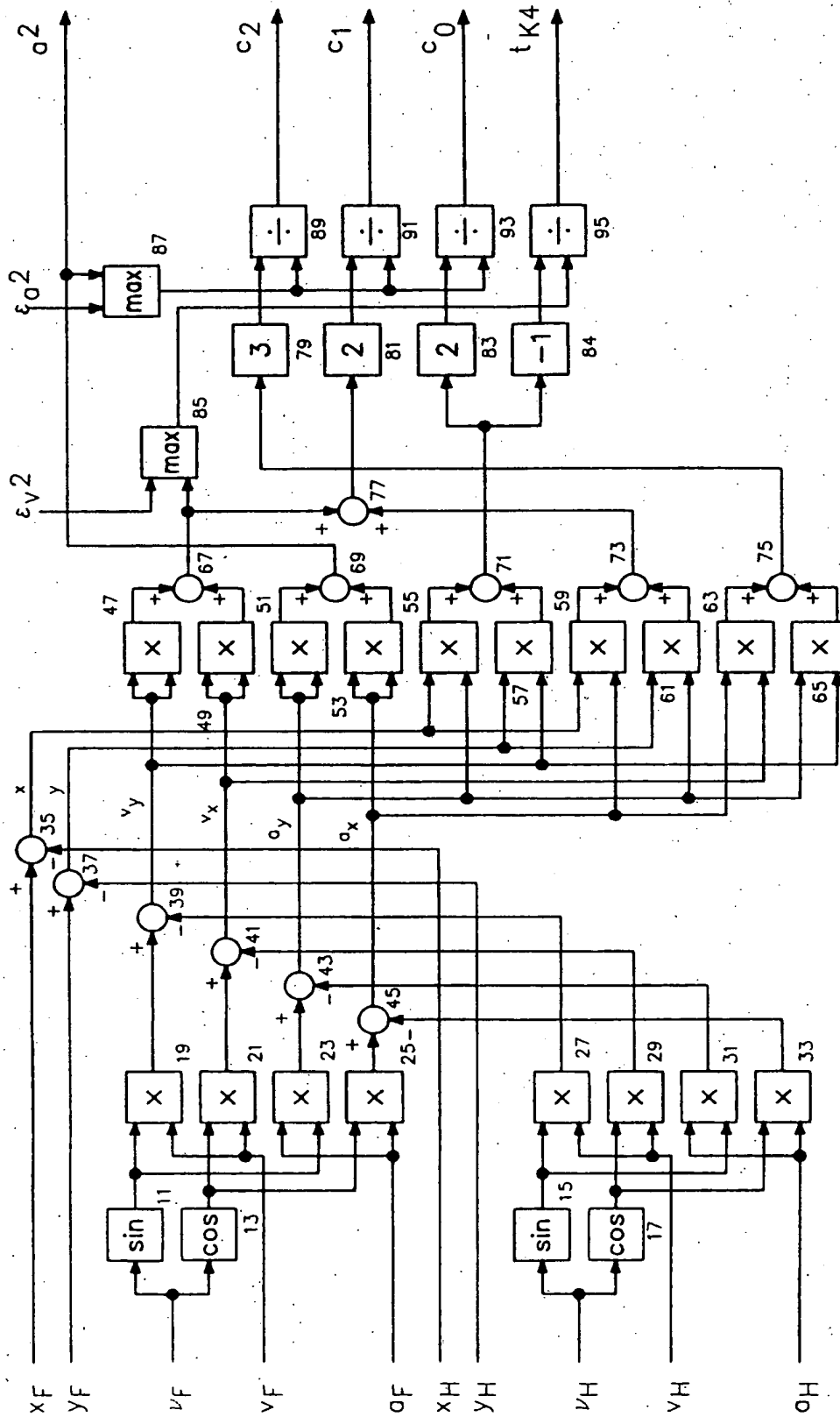


Fig. 5

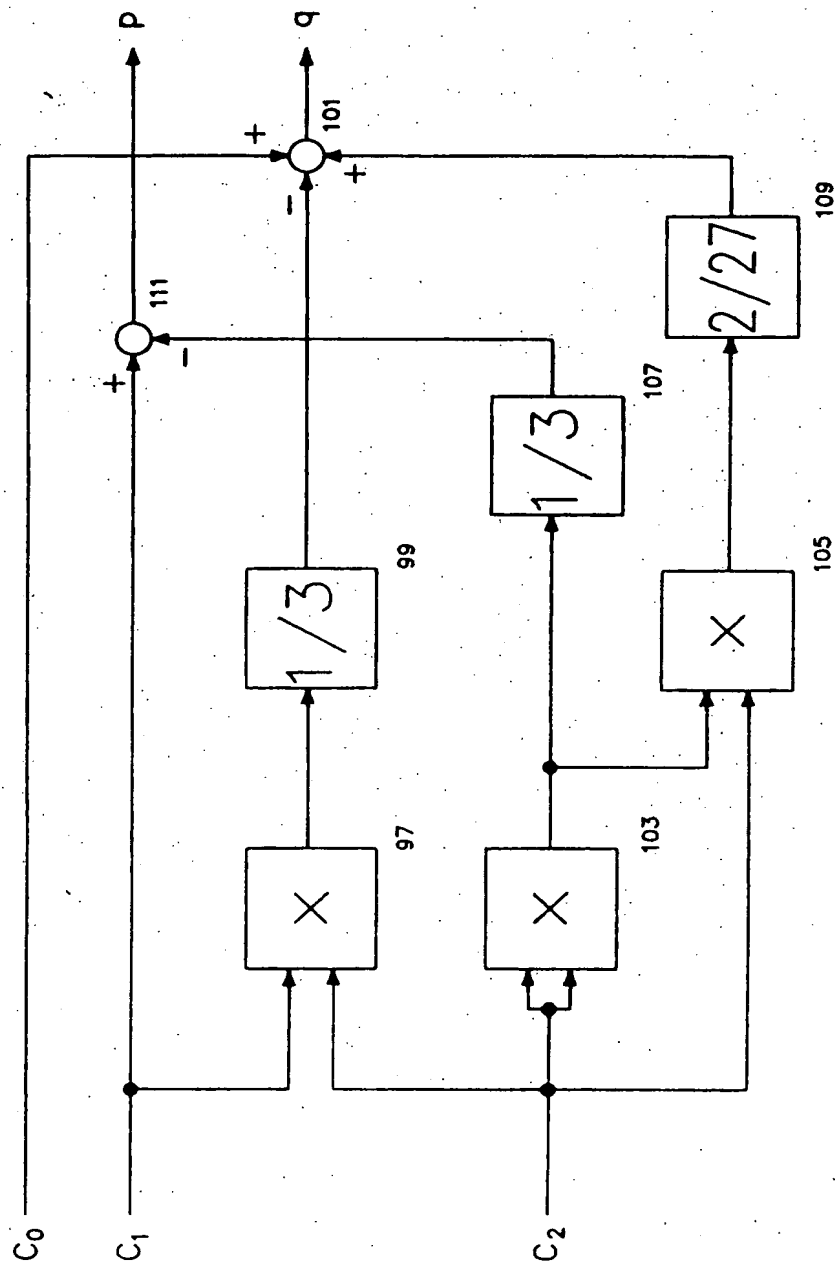


Fig. 6

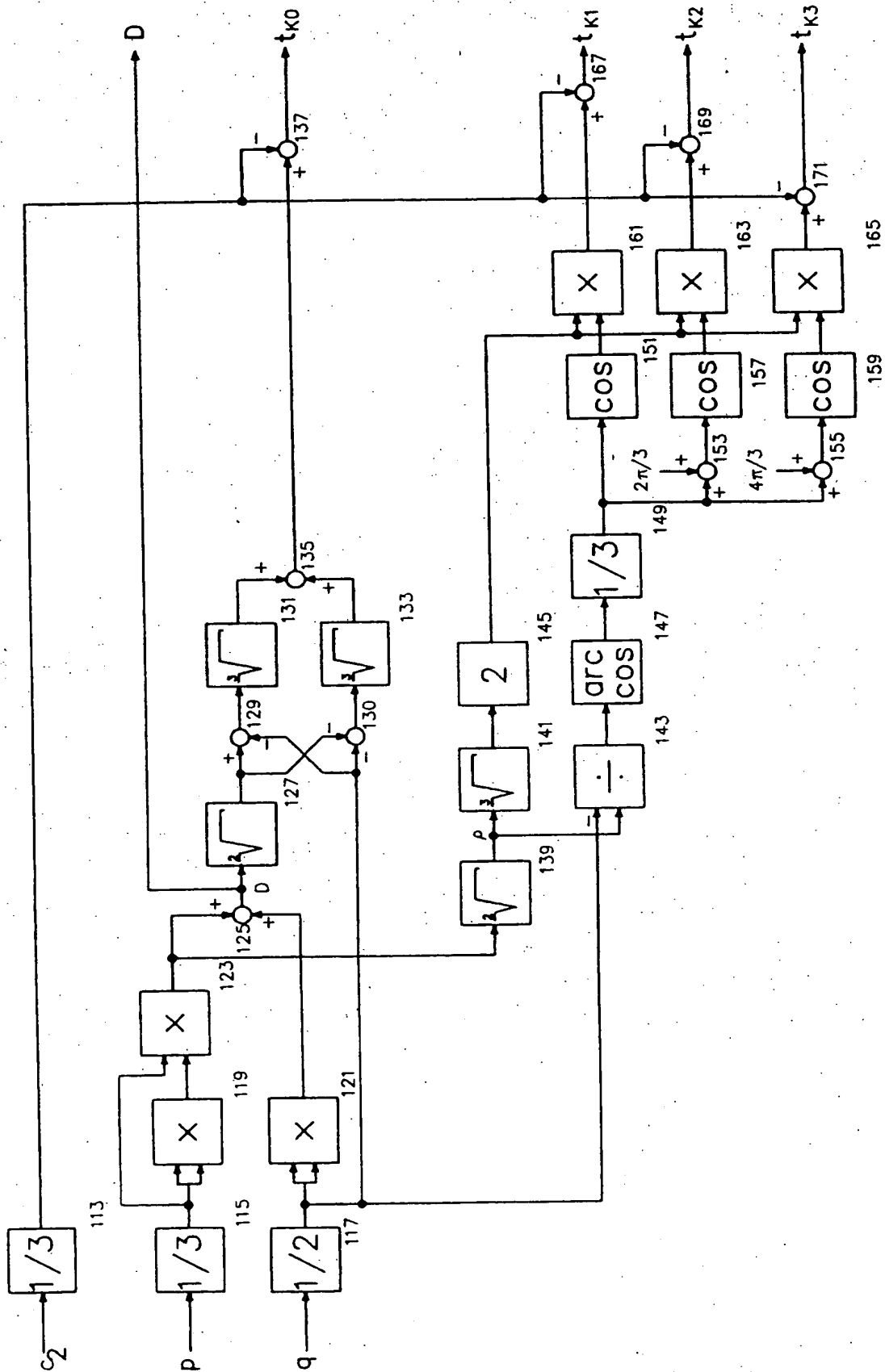


Fig. 7

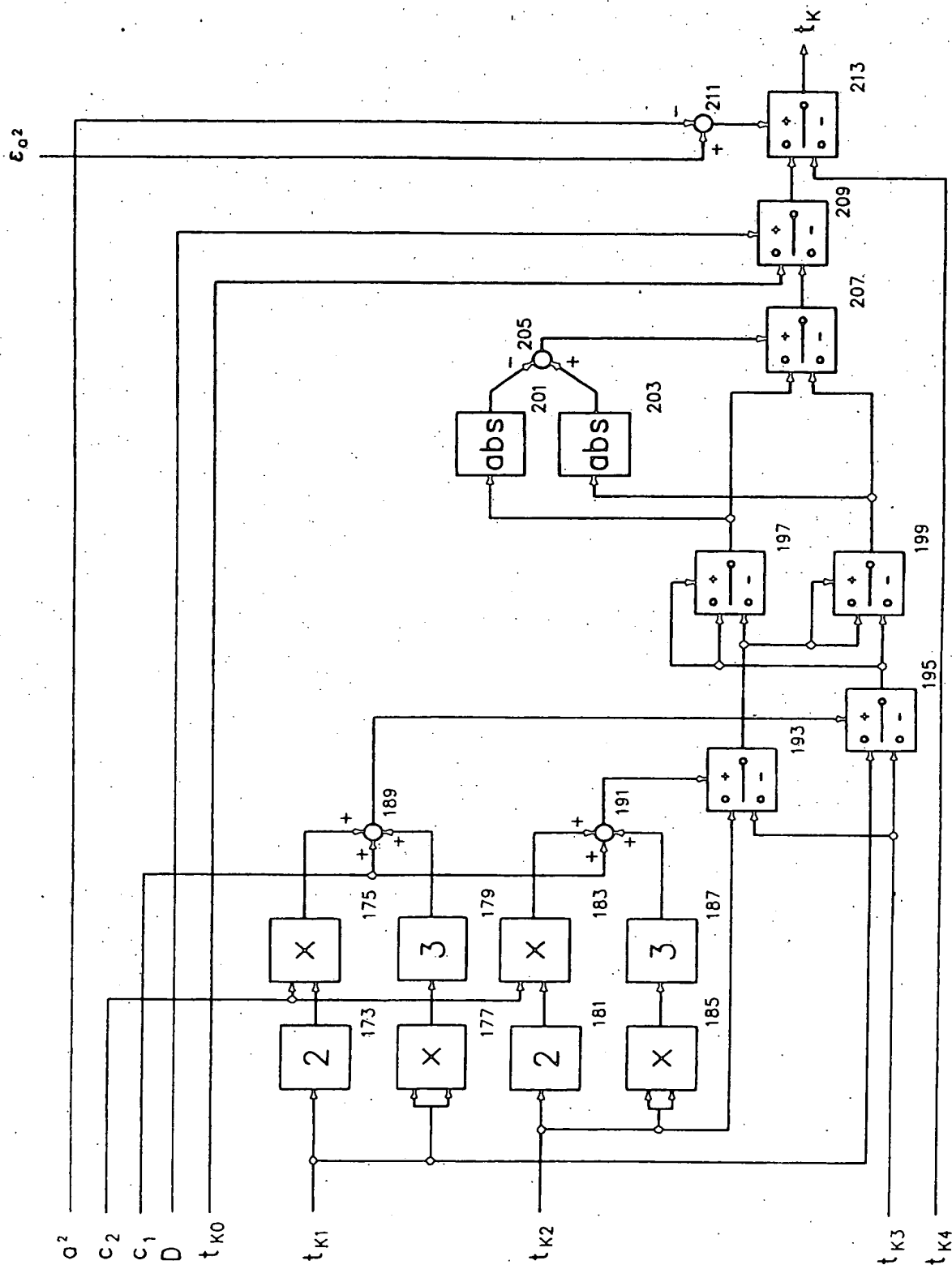


Fig. 8

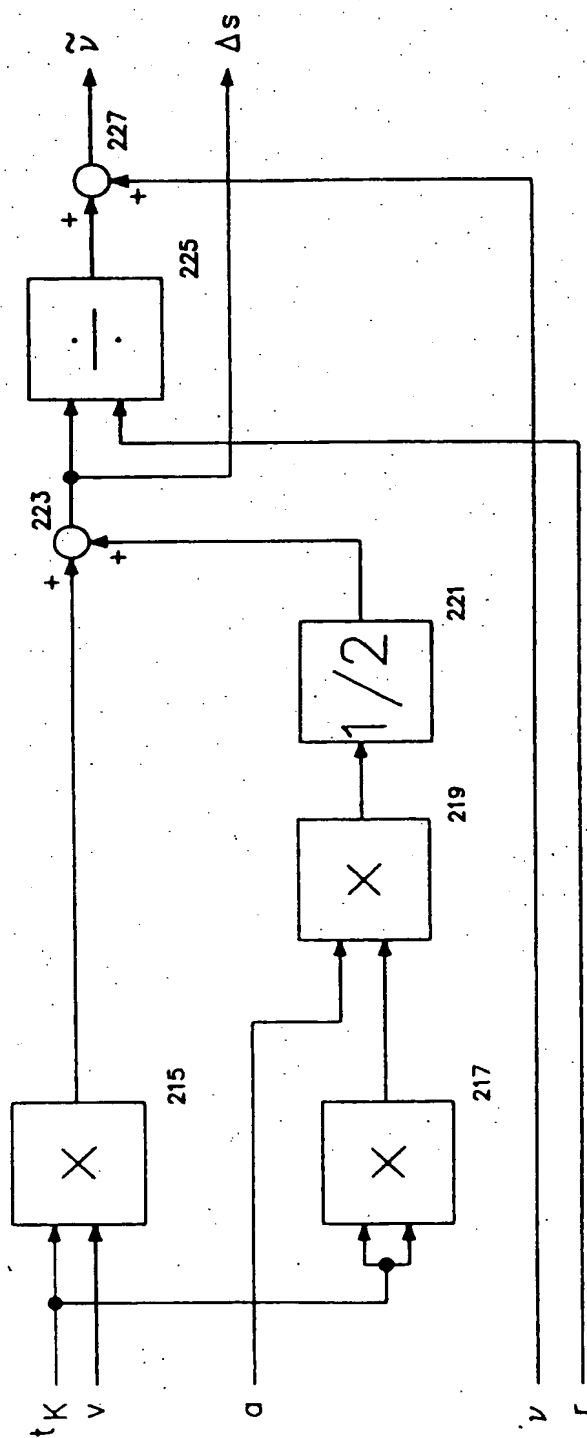


Fig. 9

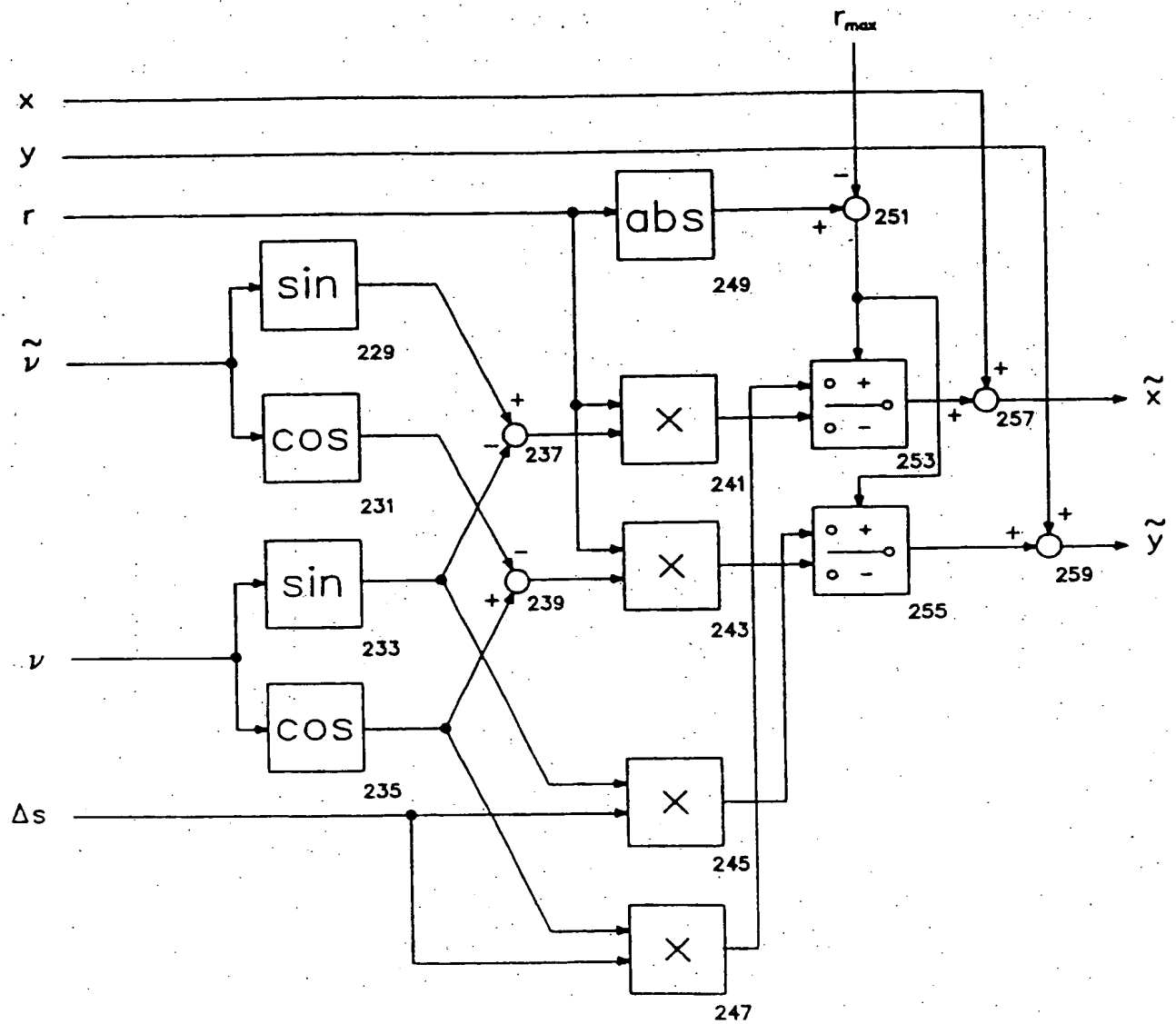


Fig. 10

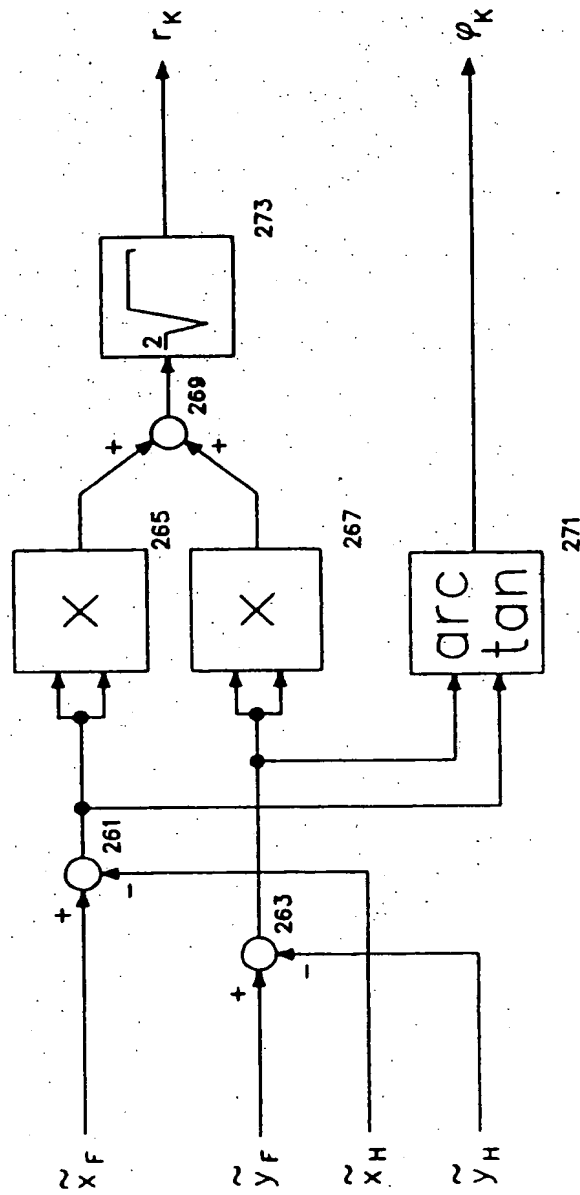


Fig. 11

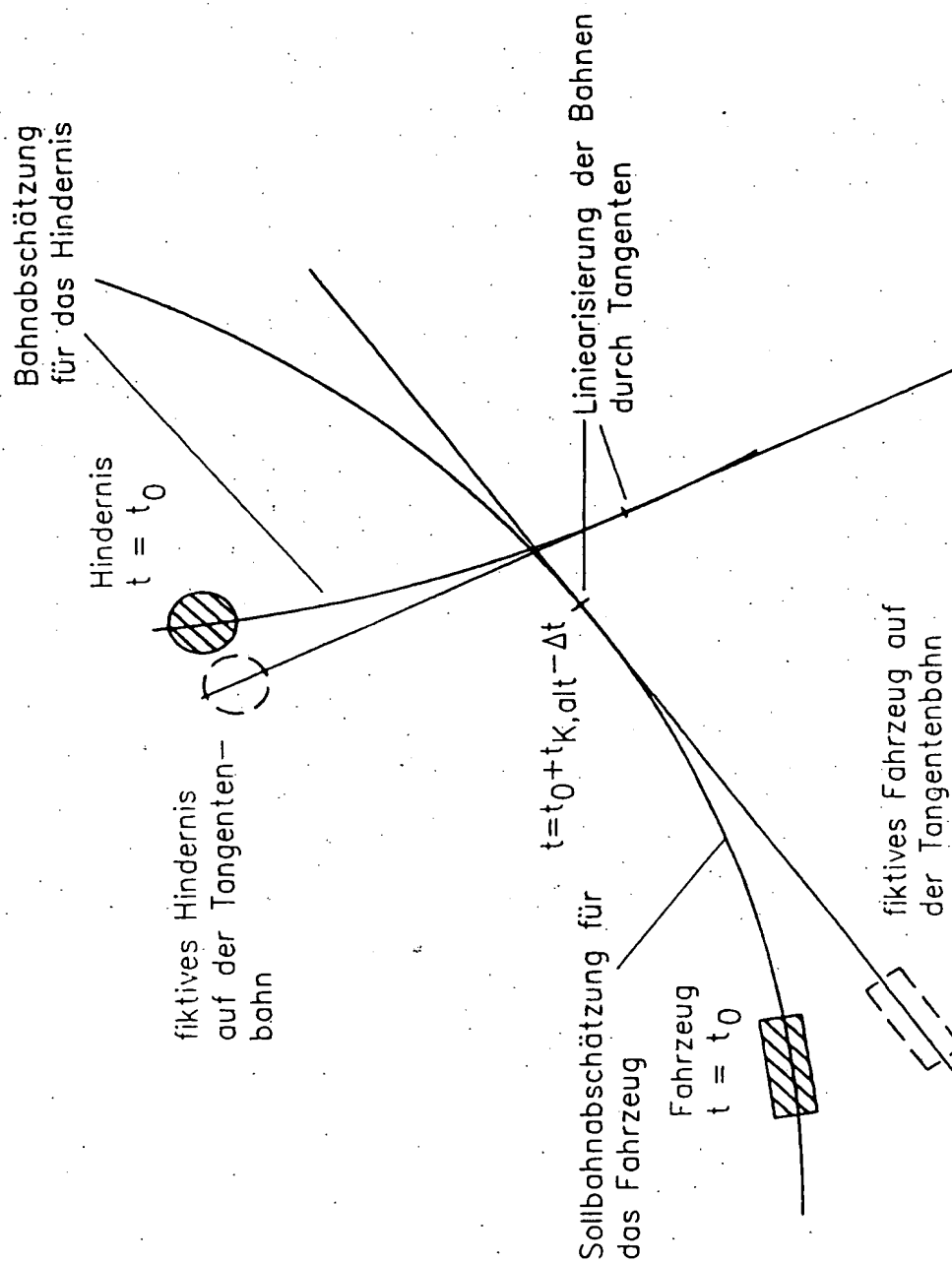


Fig. 12

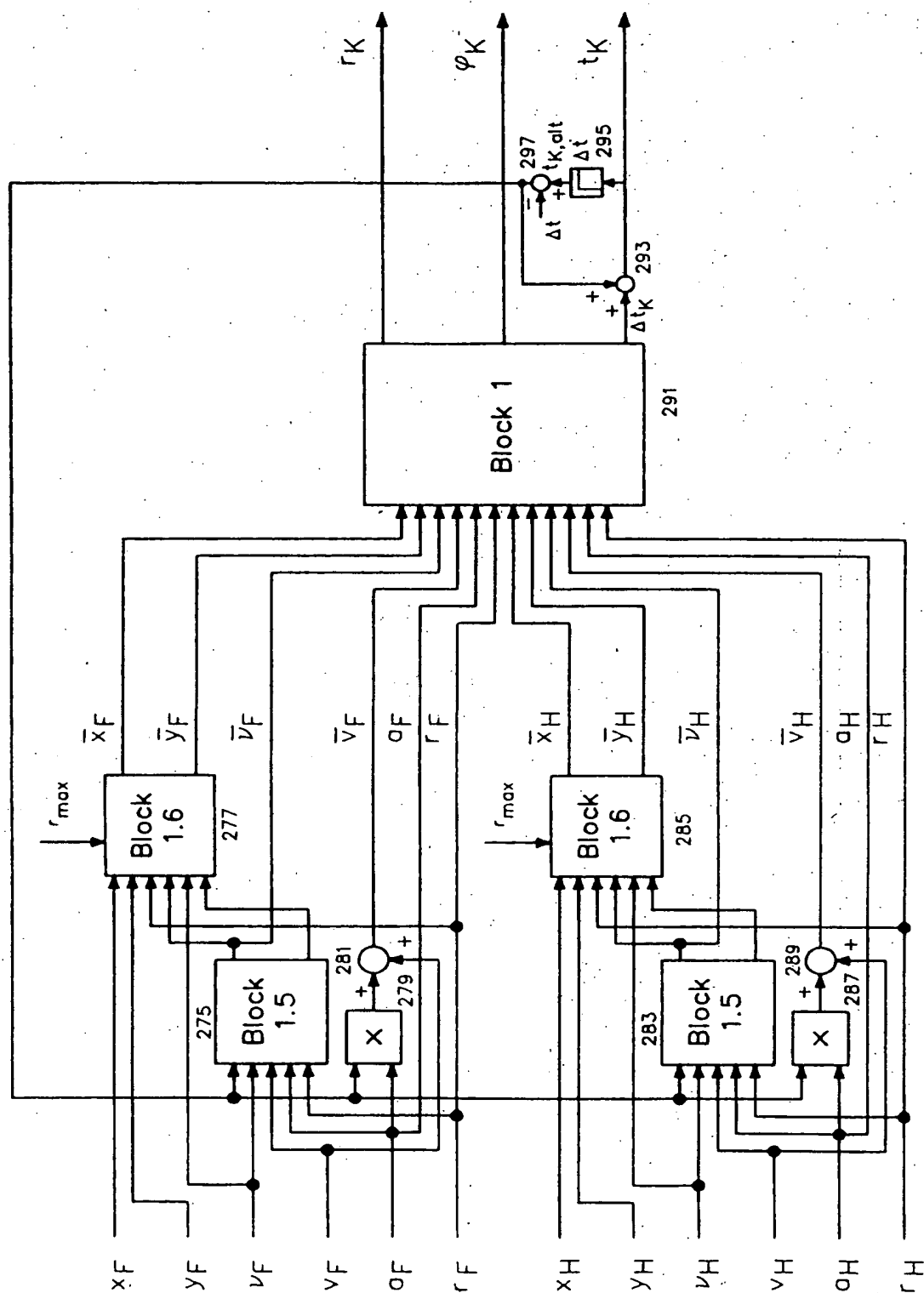


Fig. 13

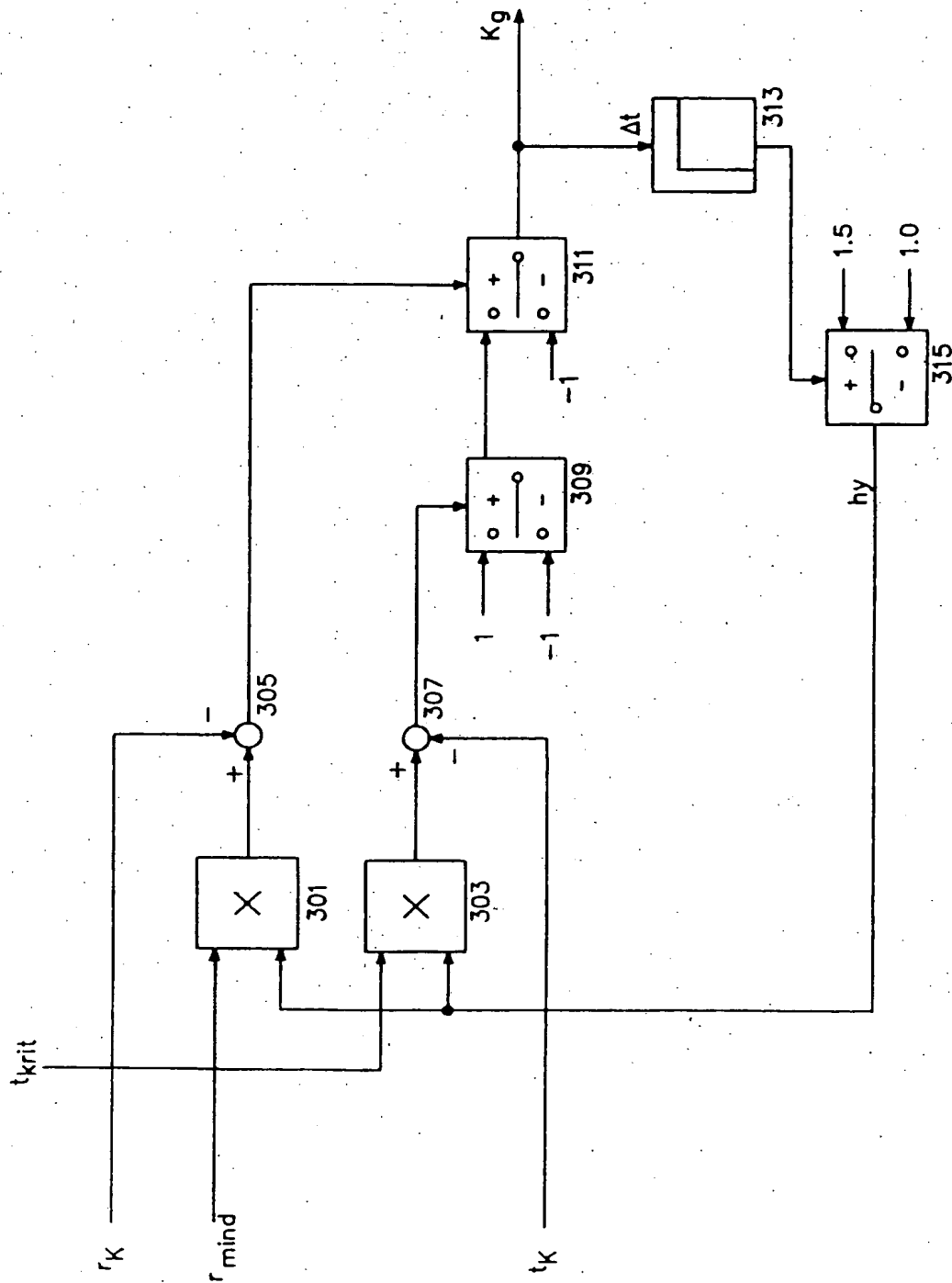


Fig. 14

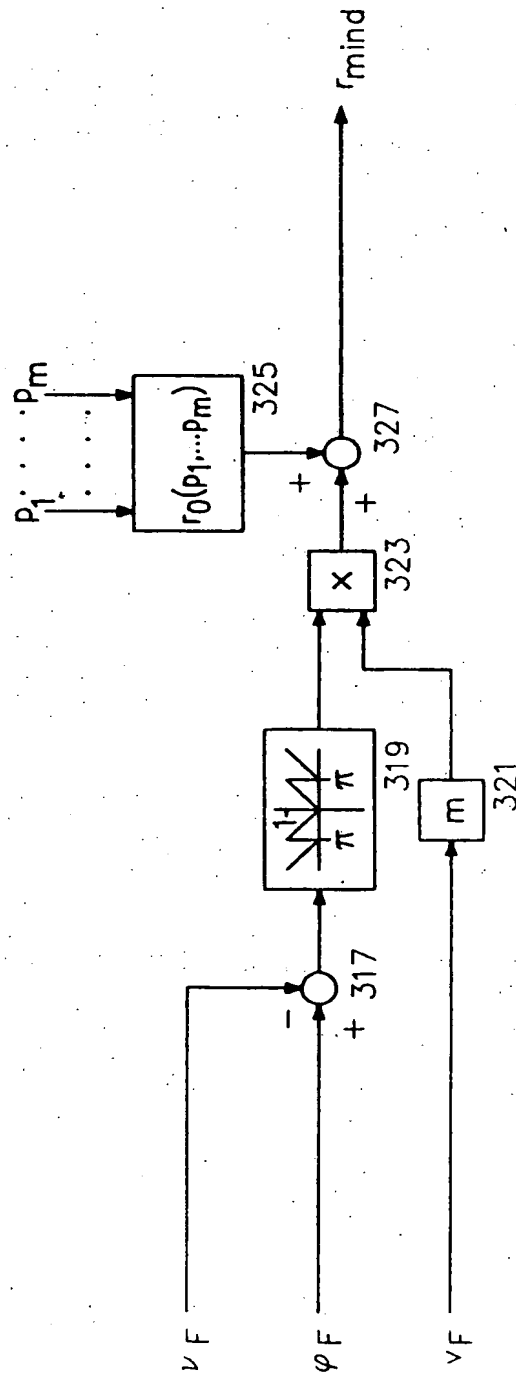


Fig. 15

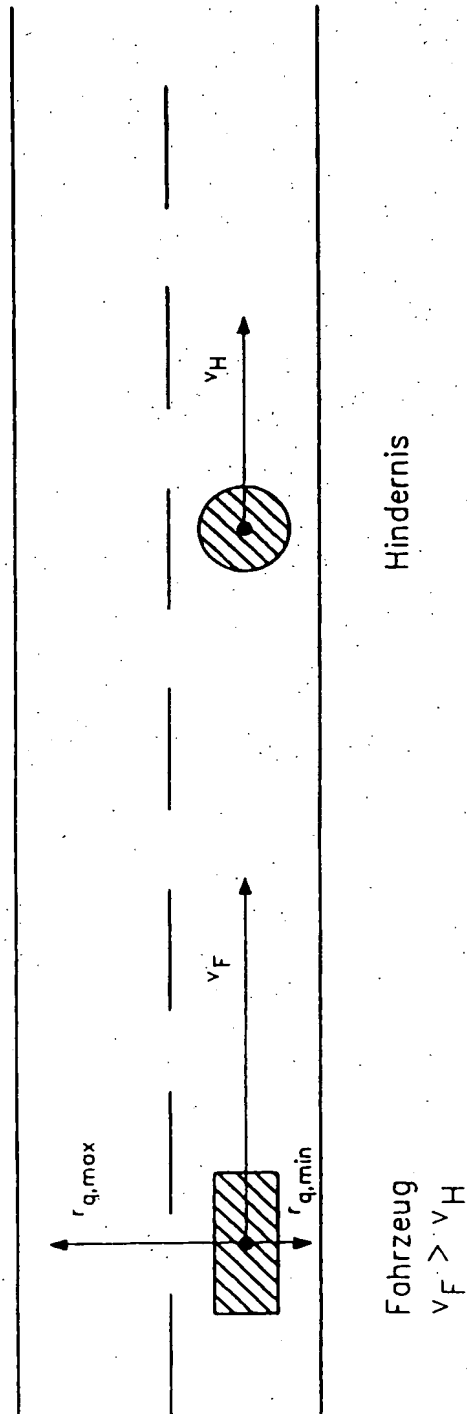


Fig. 16

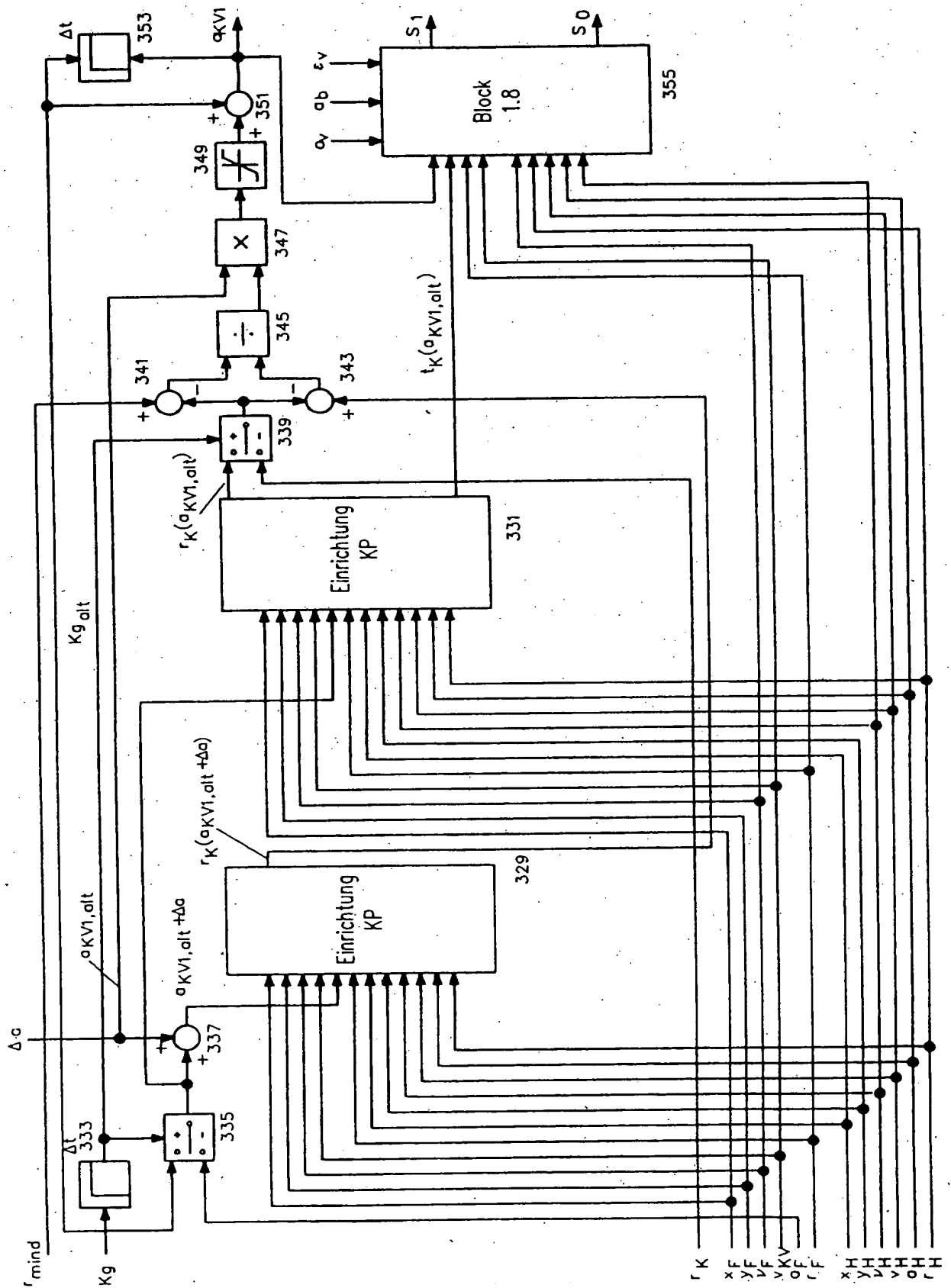


Fig. 17

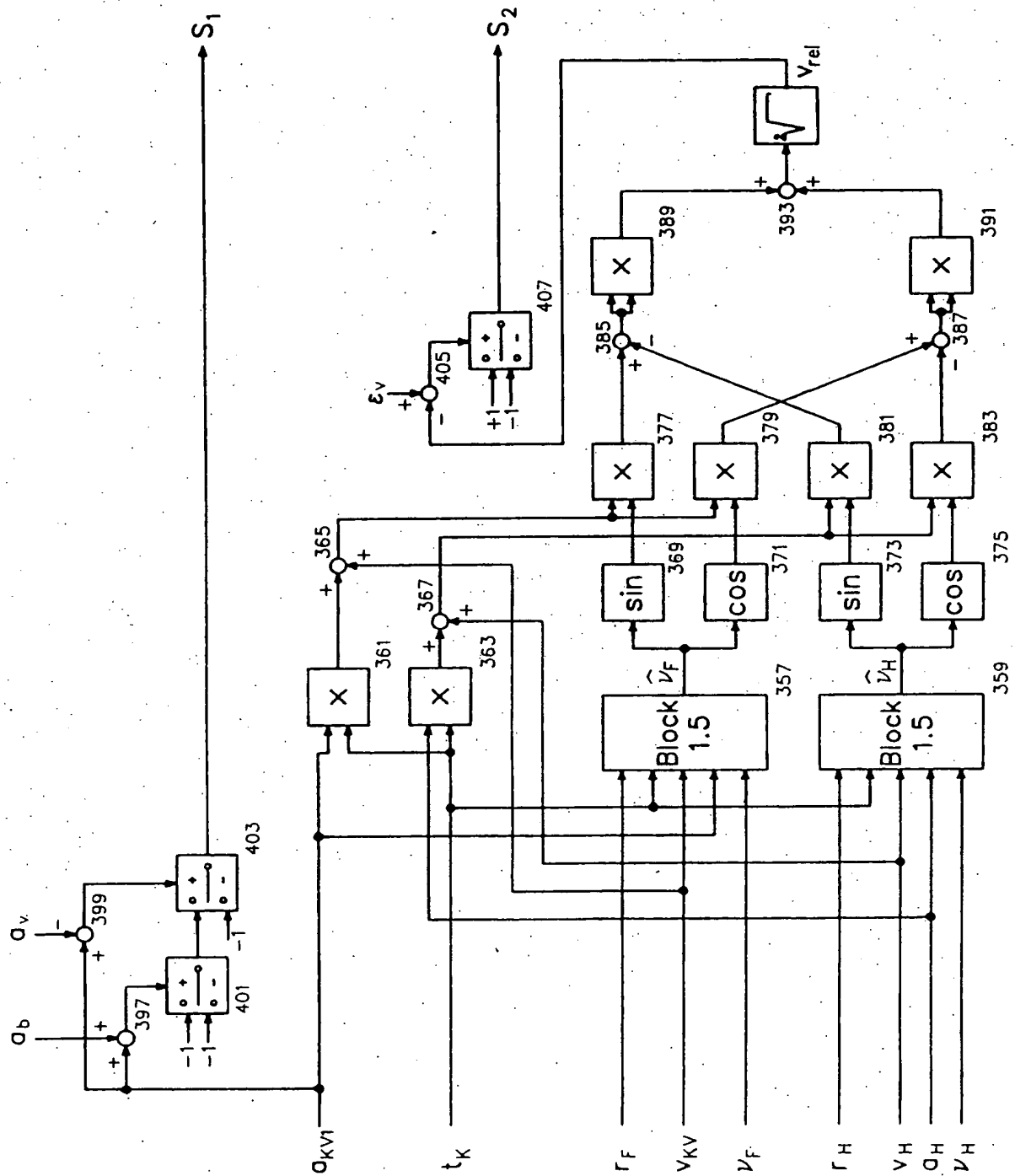


Fig. 18

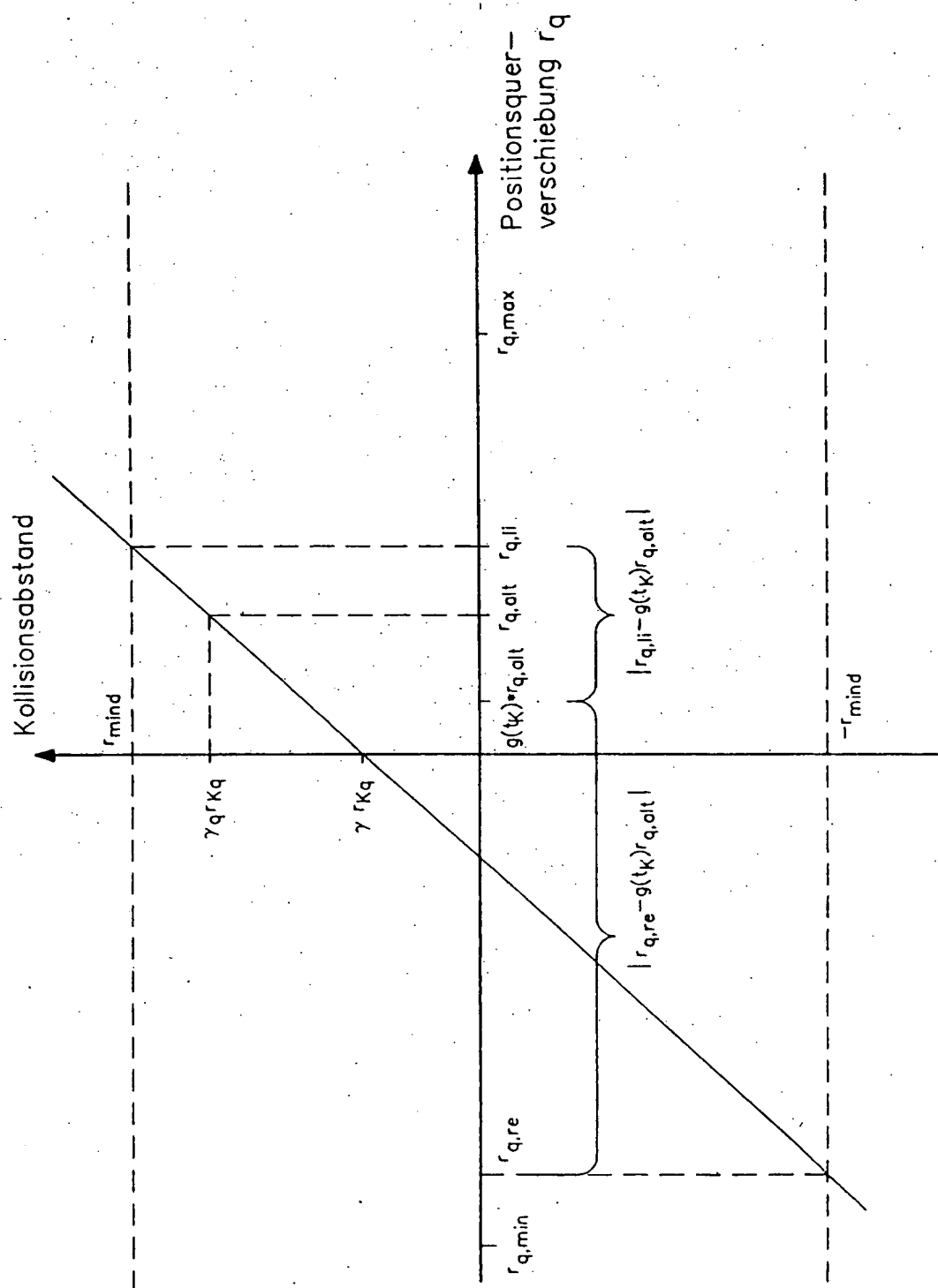


Fig. 19

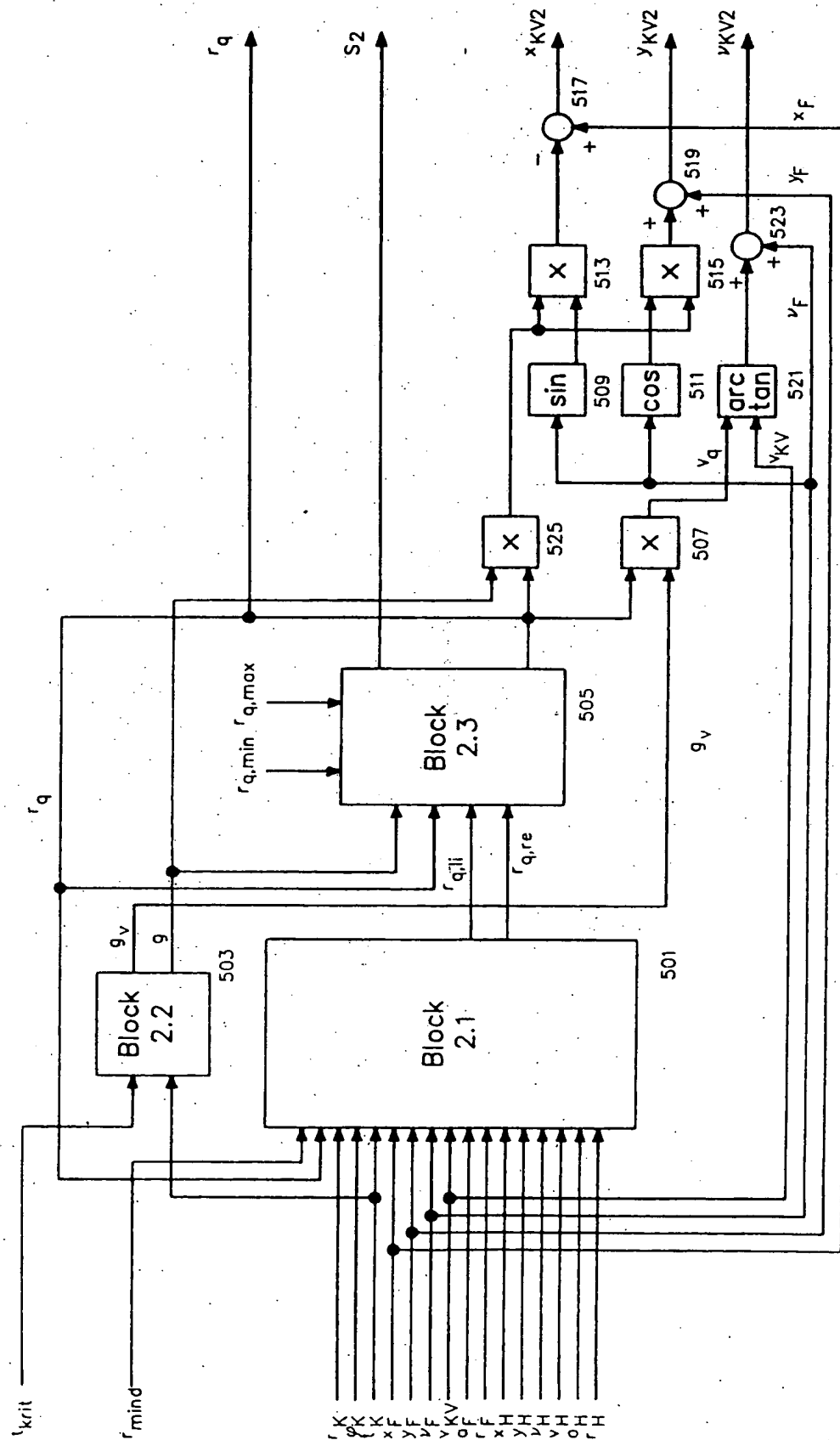


Fig. 20

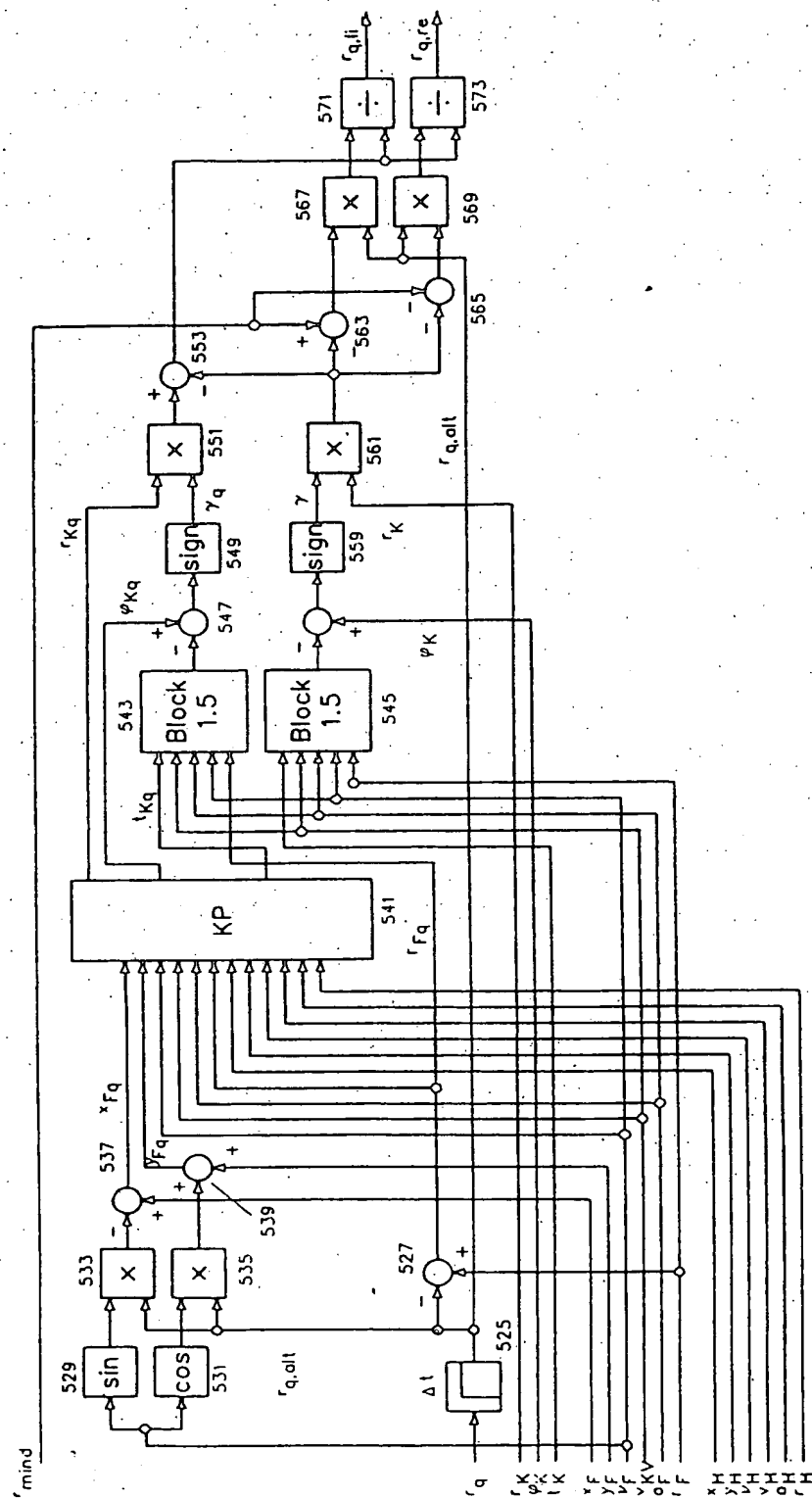


Fig. 21

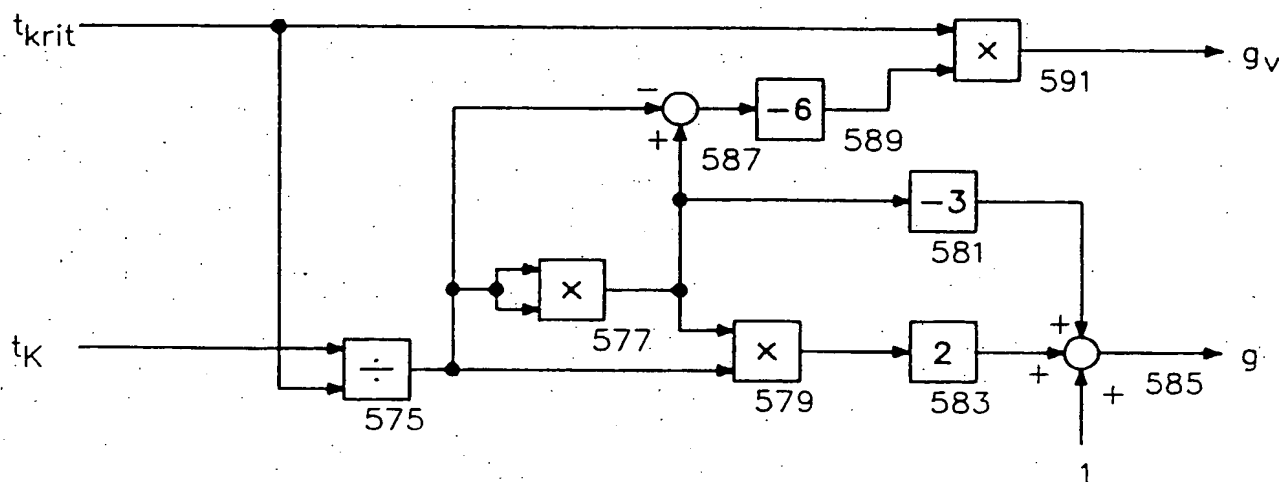


Fig. 22

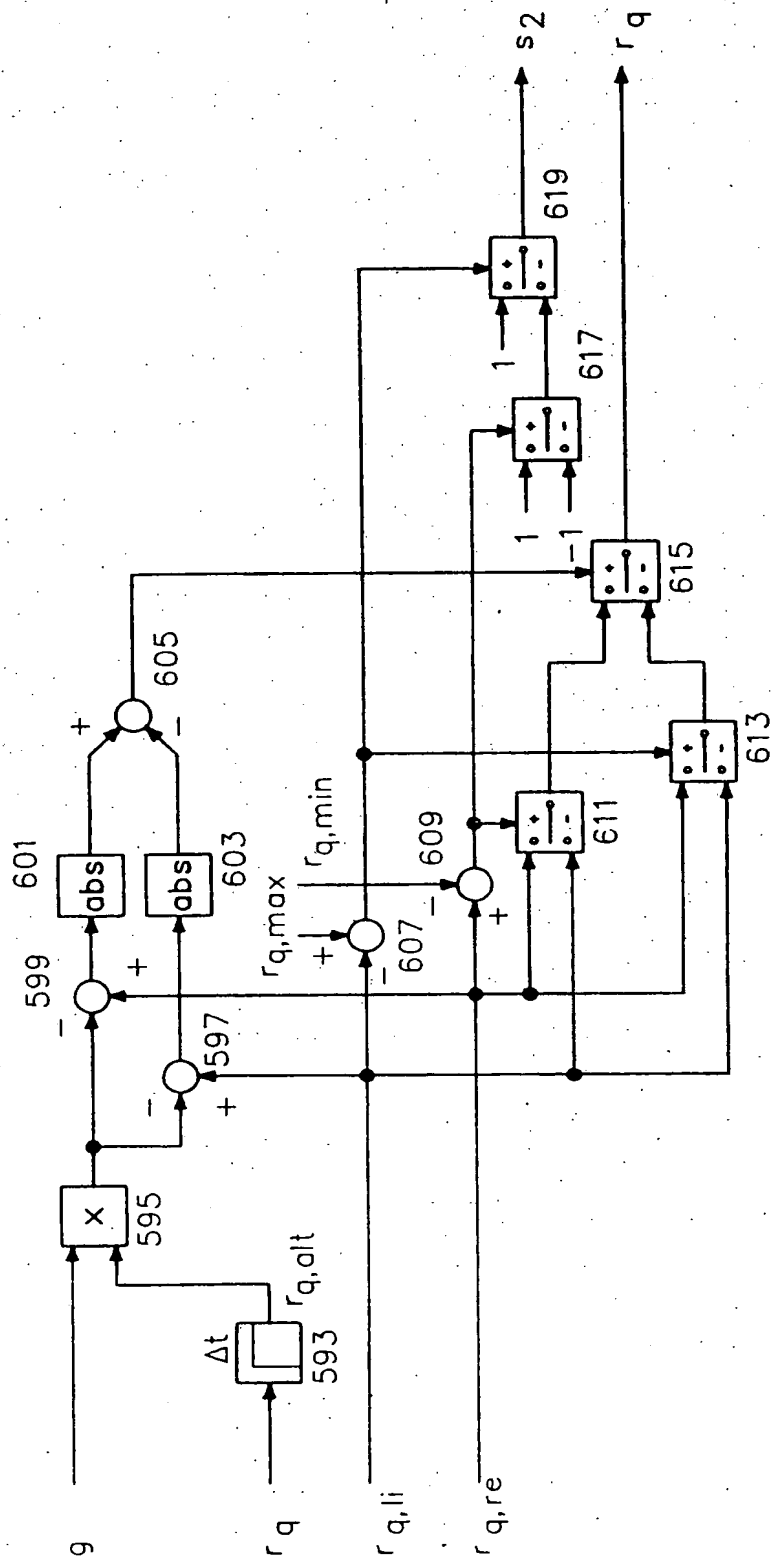


Fig. 23

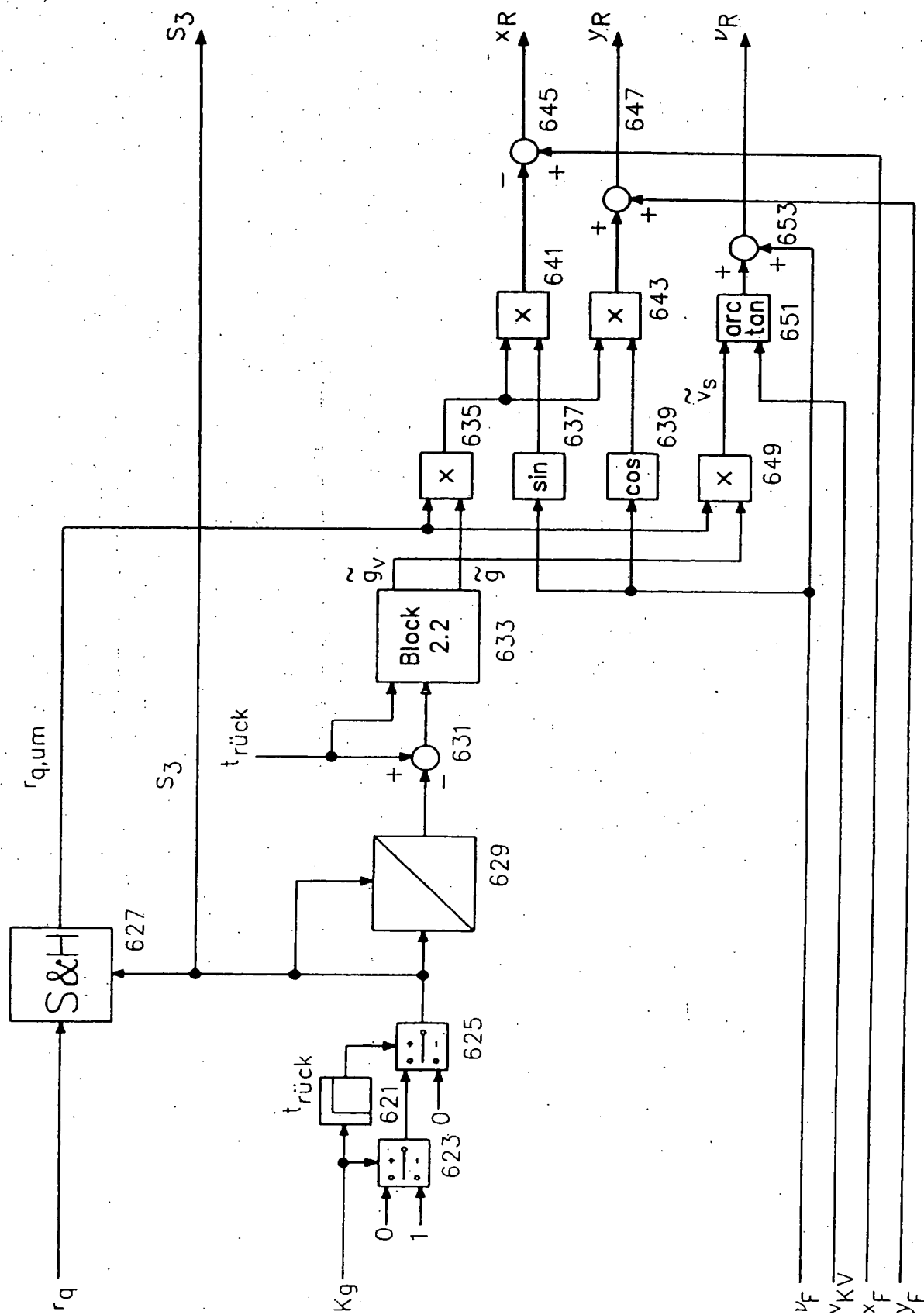


Fig. 24

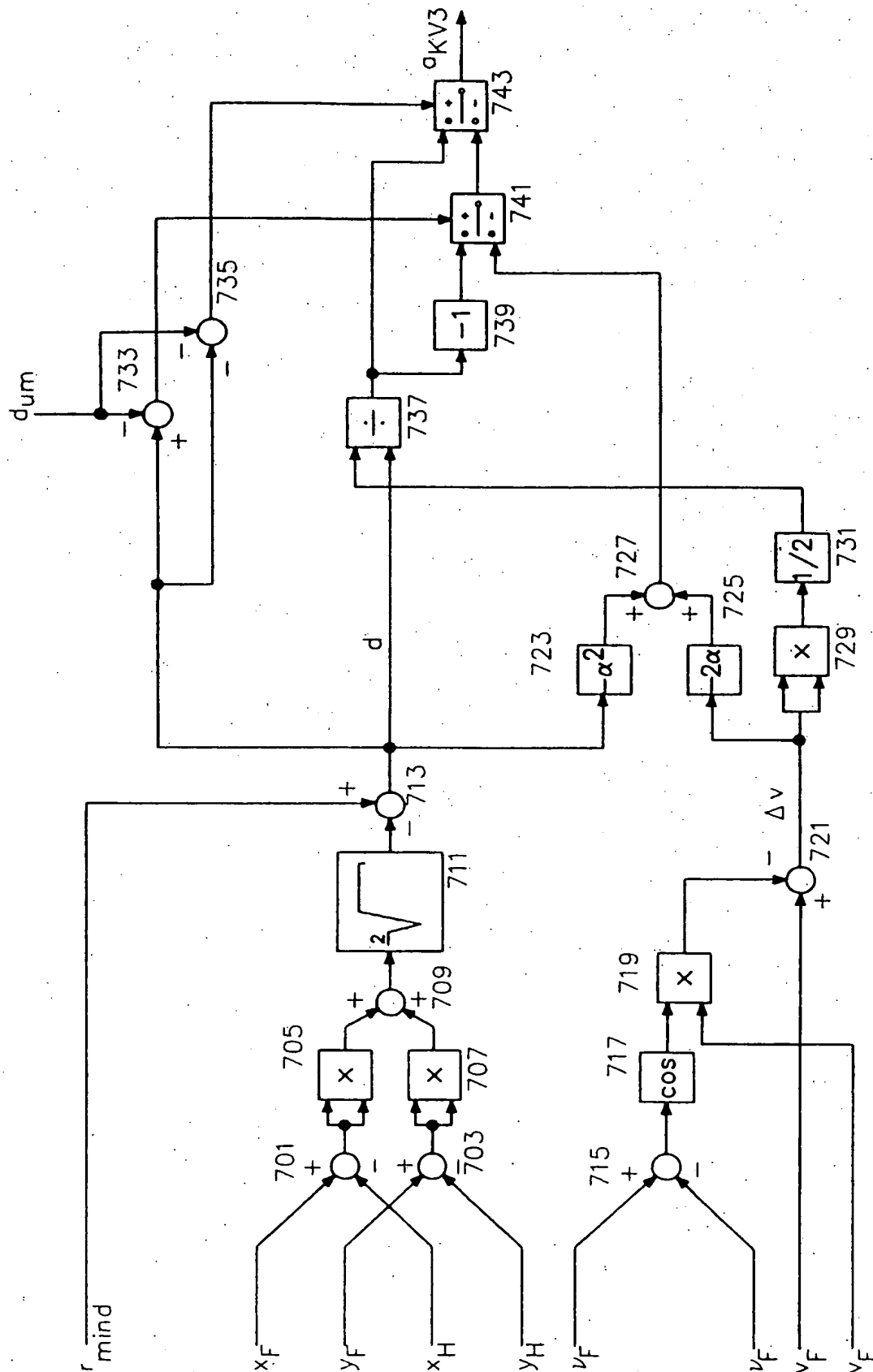


Fig. 25

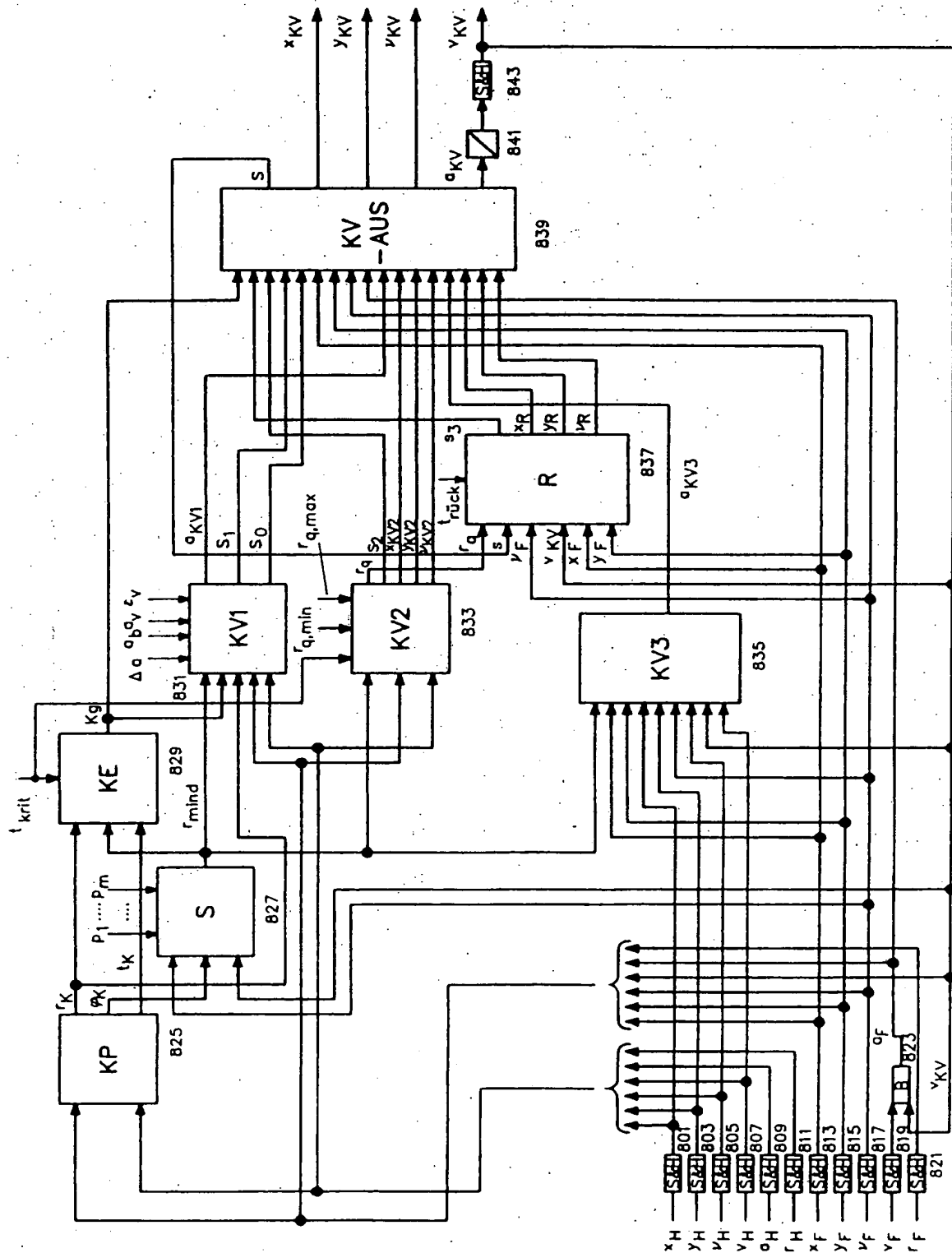


Fig. 26

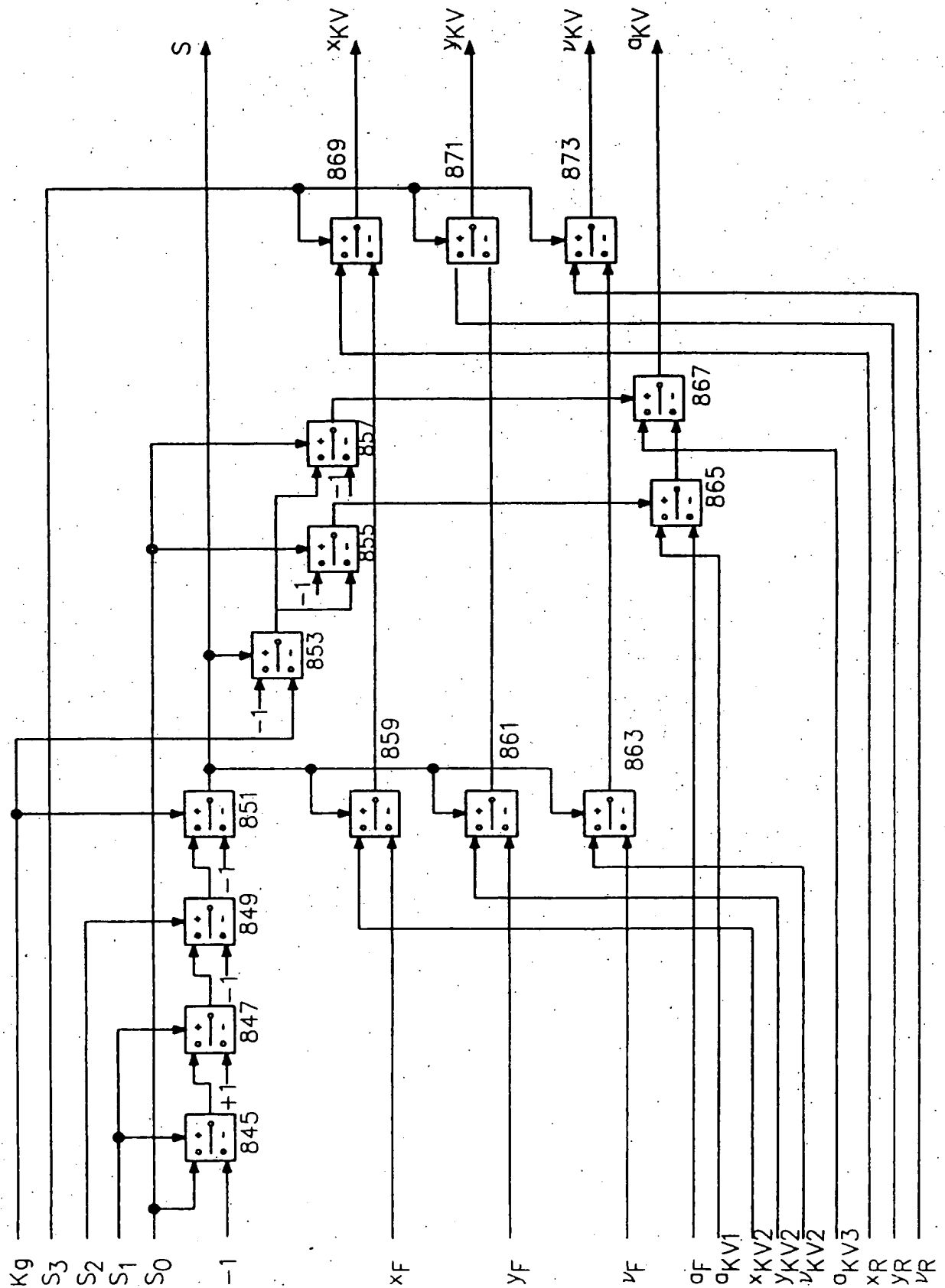


Fig. 27

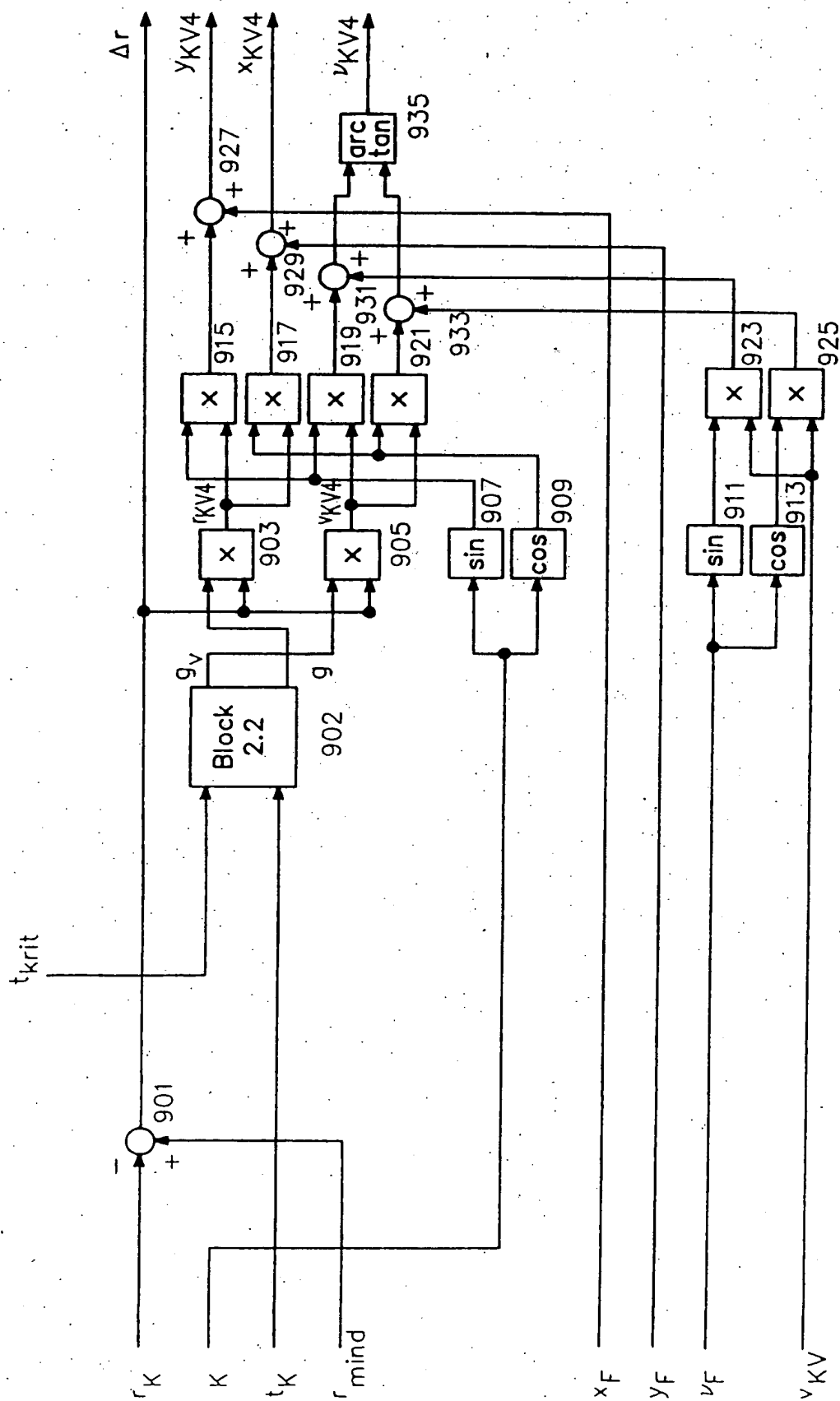


Fig. 28

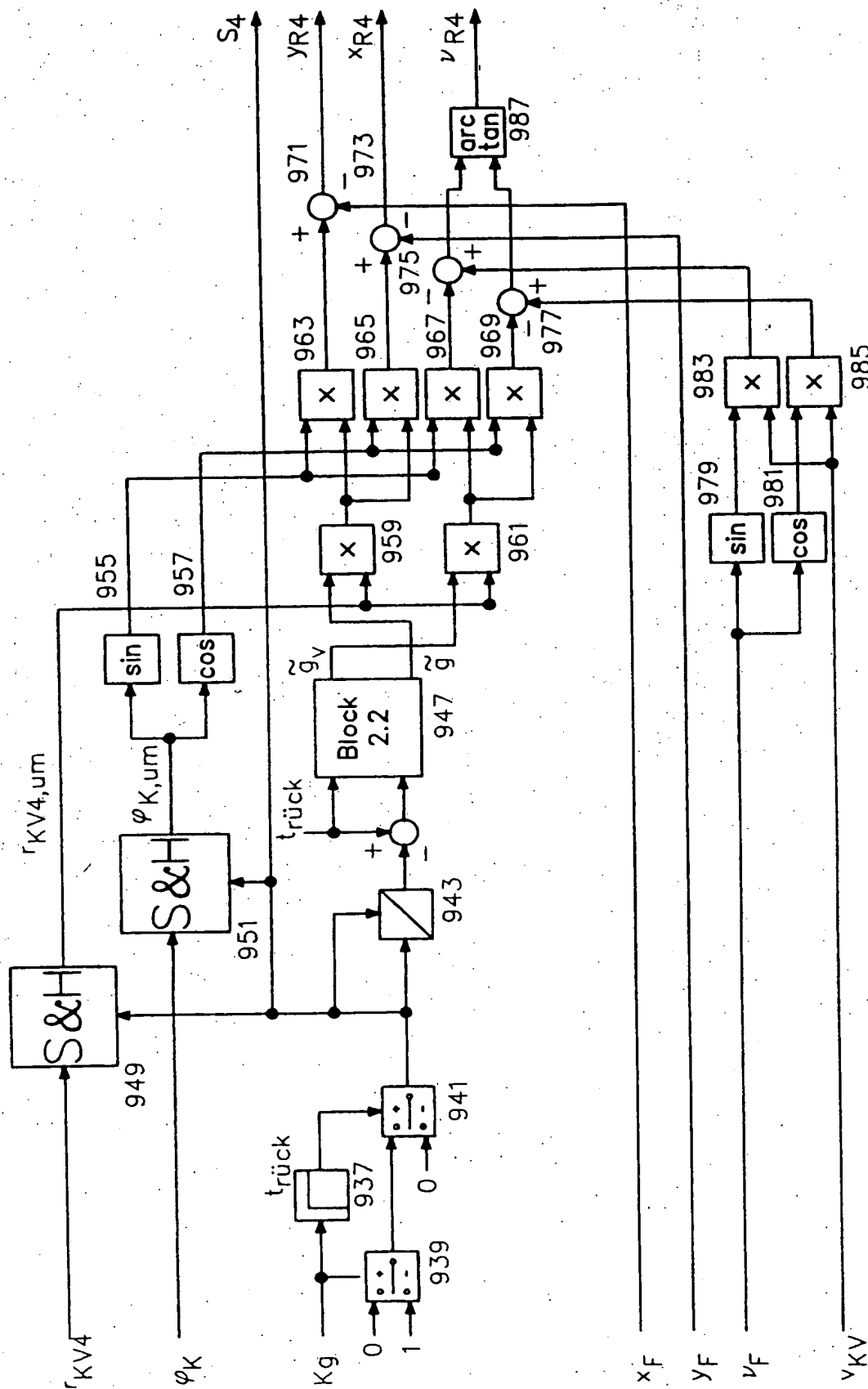


Fig. 29

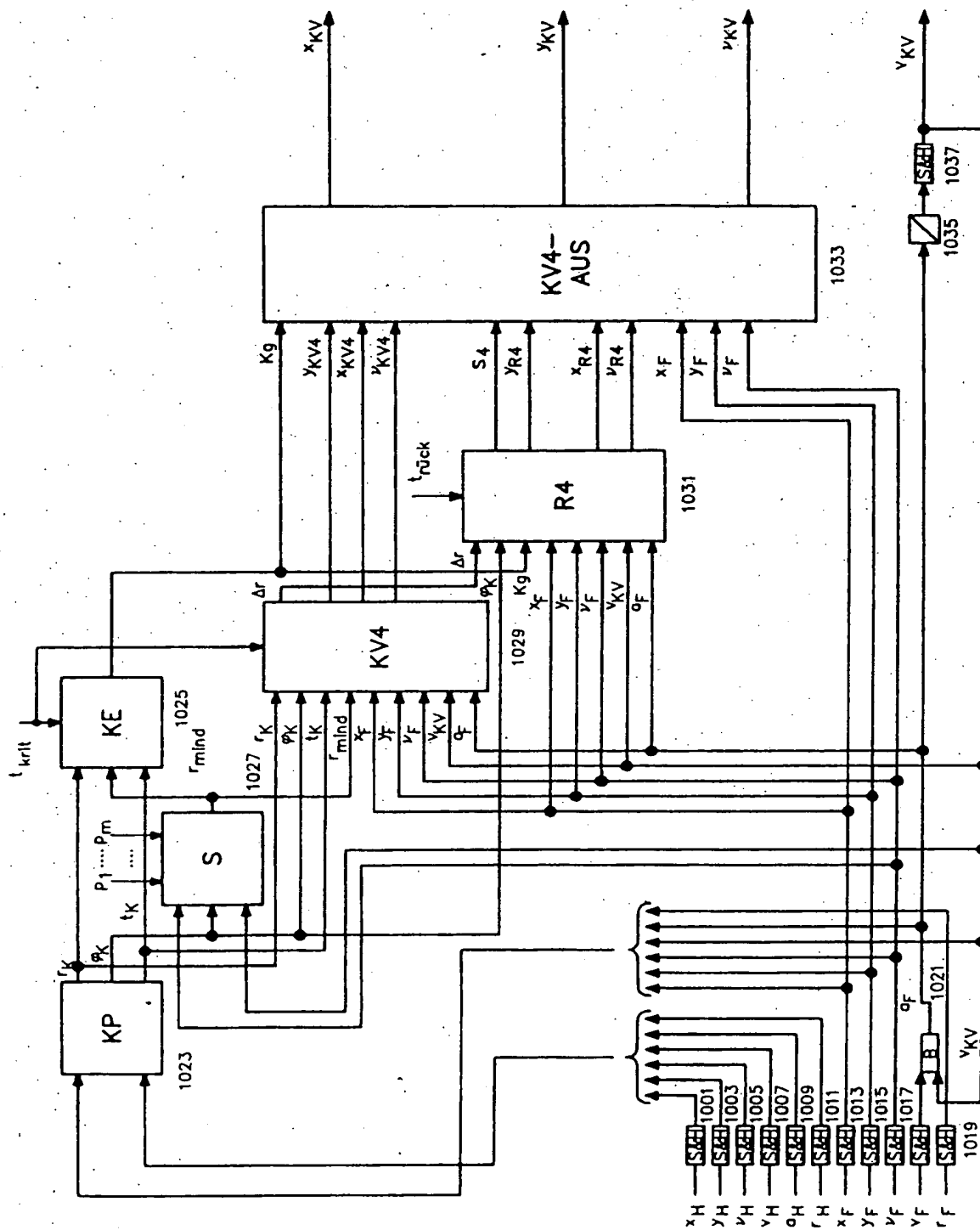


Fig. 30

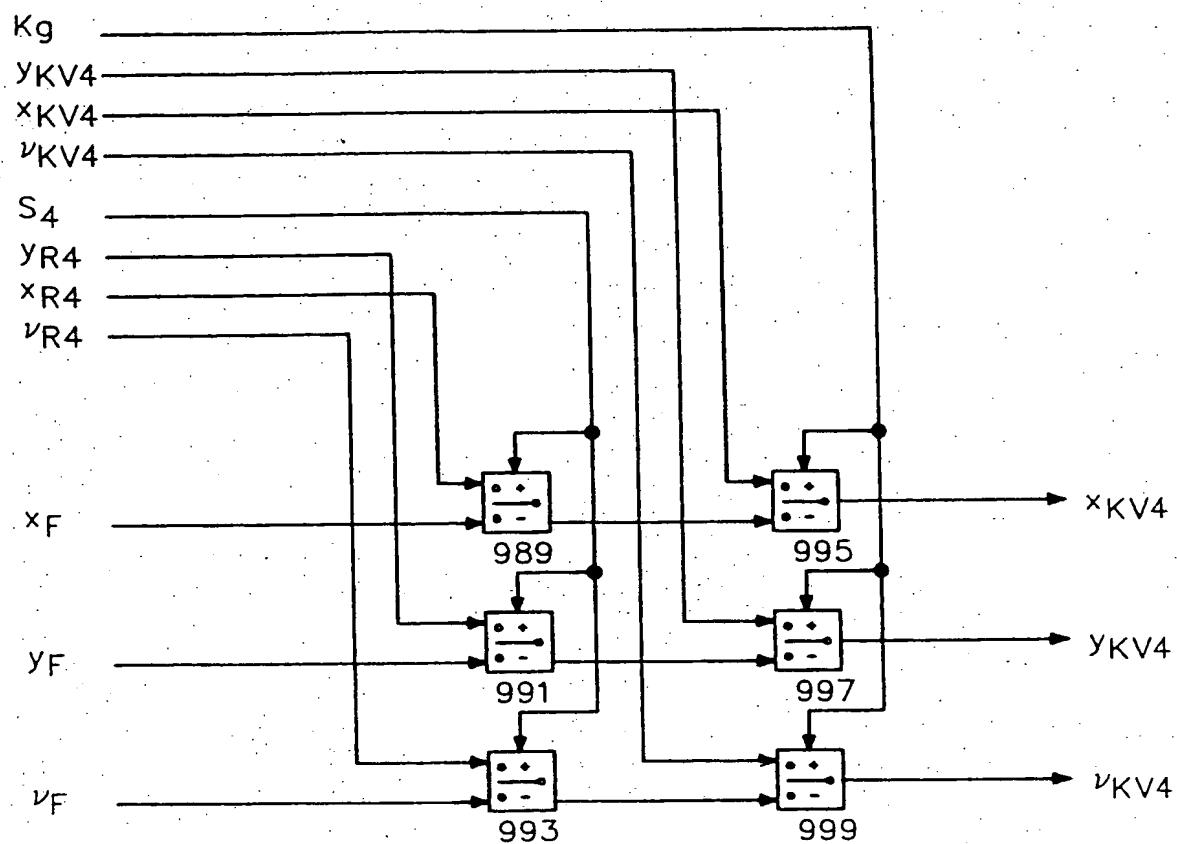


Fig. 31

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.